

Ingenieure zwischen Theorie und Praxis: zum Umgang mit Unwägbarkeiten in der Innovationsarbeit

Bolte, Annegret

Veröffentlichungsversion / Published Version
Sammelwerksbeitrag / collection article

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:
SSG Sozialwissenschaften, USB Köln

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Bolte, A. (2000). Ingenieure zwischen Theorie und Praxis: zum Umgang mit Unwägbarkeiten in der Innovationsarbeit. In *Jahrbuch sozialwissenschaftliche Technikberichterstattung 2000 : Schwerpunkt: Innovation und Arbeit* (S. 107-147). Berlin: Ed. Sigma. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-236834>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Ingenieure zwischen Theorie und Praxis

Zum Umgang mit Unwägbarkeiten in der Innovationsarbeit

Annegret Bolte

ISF München

1. Innovation und Arbeit – Vermittlungsprozesse

In der Ausbildung von Ingenieuren an Universitäten und Fachhochschulen kommt – neben den sogenannten Grundlagenfächern – der Konstruktionslehre eine große Bedeutung zu: Sie beinhaltet das systematische Wissen, wie man aus einer Fülle von an das Produkt gestellten Anforderungen eine optimale Lösung findet. So gibt es beispielsweise reichhaltige Methodenbaukästen, die die Entwickler bei der Suche nach Lösungen zur Erfüllung von Funktionsanforderungen unterstützen sollen. Daneben existieren Organisationsmethoden zur Gestaltung des Entwicklungsprozesses wie *Simultaneous Engineering*. Ingenieurstudenten lernen also während ihrer Ausbildung, wie man mit ingenieurmäßigen Methoden ein Problem technisch löst. Während ihrer Diplomarbeit haben sie vielleicht sogar die Möglichkeit, ein Produkt zu entwickeln. Gerade die Fachhochschulen haben den Anspruch und den Auftrag, die Studenten praxis- und anwendungsbezogen auszubilden. Aber auch die Ausbildung an Universitäten reduziert sich keineswegs auf die Vermittlung von Theorien und Forschungsansätzen; sie bezieht die Anwendung technischen Wissens durchaus ein.

Trotz dieses Bemühens um eine anwendungsbezogene Ausbildung erleiden viele junge Ingenieure bei Eintritt in das Berufsleben einen Praxisschock. Ihre – auch im Studium genährten – Erwartungen an den Beruf stimmen nicht mit der Realität überein. Dabei kommen sehr viele verschiedene Momente zusammen: Die Überraschung darüber, daß im Betrieb ein Produkt unter anderen Bedingungen und Voraussetzungen als an der Hochschule entwickelt wird, daß es im Betrieb außer der technischen noch sehr viele andere Sichtweisen auf das Produkt gibt, daß die Entwicklung eines neuen Produkts auch und vor allem ein sozialer Prozeß ist, in dem sich die fachliche Tätigkeit des Entwickelns über und durch Kooperation mit vielen anderen – auch außerhalb der Entwicklungsabteilung – vollzieht. Sogar das Verständnis von Technik (und damit verbunden von der Leistungsfähigkeit von Ingenieurwissenschaften) gerät ins Wanken: Die Ingenieure

erkennen, daß Technik nicht so berechenbar ist, wie sie selbst gedacht haben, und daß der Umgang mit Unwägbarkeiten an die Stelle des Berechnens tritt.

Als zentrales Defizit der Ausbildung erweist sich vor diesem Hintergrund nicht so sehr der fehlende Anwendungsbezug des theoretischen Wissens, sondern vielmehr das Bild über die Praxis, das in der Ausbildung implizit und explizit generiert wird. Der im Studium erworbene Blick auf die Entwicklung von Technik ist ebenso wie der Blick auf die betriebliche Praxis natur- und ingenieurwissenschaftlich geprägt (vgl. Böhle 1997): Die Anwendung technischen Wissens erfolgt im allgemeinen unter Laborbedingungen, in denen die Komplexität der Wirklichkeit reduziert ist. Aus den Hochschullaboren – auch wenn dort im Auftrag der Industrie geforscht wird – sind sowohl die komplexen sozialen Beziehungsgefüge, die einen Betrieb ausmachen, als auch die praktische Anwendungssituation der entwickelten technischen Systeme eliminiert. Insofern muß das an der Hochschule vermittelte Praxisbild von den realen Praxisbedingungen abstrahieren. So bedeutet beispielsweise Projektarbeit an der Hochschule etwas ganz anderes als im Betrieb. Selbst wenn Studenten eine Diplomarbeit in einem Betrieb anfertigen, sind sie damit noch kein Teil des betrieblichen Sozialgefüges, und zudem ist mit der Abgabe der Diplomarbeit die Frage der Realisierung des entwickelten Produkts noch lange nicht geklärt. Des weiteren gelten aus der Perspektive der Hochschulabsolventen – entsprechend den Schwerpunkten ihrer Ausbildung – physikalisch-technische Gegebenheiten als grundsätzlich berechenbar (und damit vorherrschbar) und auf dieser Grundlage technisch beherrschbar.

Das in diesem Beitrag aufgegriffene Problem¹ ist somit nicht der vielzitierte Gegensatz von abstrakter Theorie und Praxis. Statt dessen rückt die Differenz zwischen dem natur- und ingenieurwissenschaftlich geprägten Blick auf die Praxis einerseits und den konkreten betrieblichen Gegebenheiten andererseits in den Mittelpunkt der Betrachtung. Ingenieure sind in der betrieblichen Praxis mit Anforderungen konfrontiert, die von den im Studium erworbenen Erfahrungen bei der praktischen Anwendung ihres Wissens abweichen. Diese Anforderungen lassen sich nicht auf die Ergänzung des im Studium erworbenen „allgemeinen Wissens“ mit einem auf praktische Anwendung bezogenen „Kontextwissen“ (vgl. Beck/Bonß 1989) beschränken. Ausschlaggebend für die Differenz zwischen Studium und betrieblicher Praxis sind – so unsere These – vielmehr strukturelle Gegebenheiten betrieblicher Praxis, die – pointiert formuliert – im ingenieurwissenschaftlich geprägten Blick von Praxis nicht vorgesehen sind bzw. letztlich nicht vorkommen können (und dürfen). Dies betrifft insbesondere die Verschrän-

1 Die konzeptuellen Überlegungen entstanden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 536 „Reflexive Modernisierung“, Teilprojekt A 3 „Grenzen wissenschaftlich-technischer Beherrschung und anderes Wissen – Umbrüche im gesellschaftlichen Umgang mit sinnlicher Erfahrung“. Neben der Verfasserin sind hieran beteiligt: Fritz Böhle, Ingrid Drexel, Sabine Pfeiffer und Sabine Weishaupt.

kung von technisch-materiellen mit sozialen Prozessen einerseits und die Unwägbarkeiten physikalisch-technischer Gegebenheiten sowie deren nicht vollständiger Berechenbarkeit andererseits.

Im folgenden soll gezeigt werden, wie Entwicklungsingenieure diese Differenz erfahren und wie sie diese bewältigen. Es soll dargestellt werden, wie Ingenieure sich mit betrieblicher Wirklichkeit *tätig* auseinandersetzen, wie sie auf der Subjektebene Innovation und Bedingungen der Arbeitswelt integrieren. Da die befragten Ingenieure seit mehreren Jahren als Entwickler tätig sind, haben sie den Praxisschock (erfolgreich) überwunden. Sie stehen aktuell nicht mehr mitten in der ursprünglichen Konfliktsituation, sondern schauen nachträglich ein bißchen verklärt auf diese Situationen zurück. Die ursprünglich erlebte Konflikthaftigkeit wird so abgemildert: Die Entwickler haben gelernt, mit den Unwägbarkeiten und Störungen umzugehen, diese sind für sie inzwischen das „tägliche Brot“ und nicht mehr die unerwarteten Ausnahmen.

Für die Darstellung wird der *Blick von innen* zum Fokus: Wie stellt sich das Arbeitshandeln aus der Perspektive der Entwicklungsingenieure selbst und ihrer subjektiven Erfahrung dar? Welche Sichtweise haben sie auf ihr Arbeitshandeln? Eine solche Entfaltung einer radikal subjektiven Perspektive hat sowohl für das Forschungsdesign als auch für die Darstellungslogik Folgen: Im empirischen Forschungsprozeß ergibt sich die Konsequenz, die Befragten als aktiv handelnde und kompetente Interaktionspartner ernst zu nehmen und ihnen Gelegenheit zur Schilderung ihrer Perspektiven innerhalb *ihres* relevanten Systems zu geben. Für die Präsentation der Ergebnisse wurde hier eine Form gewählt, die die Entwicklungsingenieure selbst zu Wort kommen läßt und ihre Interpretation in den Mittelpunkt der Darstellung rückt, statt sie lediglich zur Illustration allgemeiner Aussagen heranzuziehen.

Im Rahmen des Vorhabens wurden 42 Entwicklungsingenieure in mehrstündigen – auf Tonband aufgezeichneten – Interviews zu ihrer Entwicklungstätigkeit befragt.² Die – allesamt männlichen – Gesprächspartner sind jeweils seit mehreren Jahren in mittleren Unternehmen des deutschen Maschinenbaus tätig. Diese Unternehmen sind global agierende Hersteller von Textilmaschinen und Maschinen zur Holzverarbeitung sowie Hersteller von Getrieben und Sensoren. In diesen Unternehmen ist – im Vergleich zu Großbetrieben – der Grad der Arbeitsteilung relativ gering. Außerdem zeichnen sich diese Betriebe durch einen starken Kundenbezug aus. Ihr Innovationsverhalten ist durch ein inkrementelles Vorgehen gekennzeichnet und dürfte insoweit typisch für den deutschen Maschinenbau sein.

2 Die in den folgenden Abschnitten aufgeführten Interviewpassagen entstammen diesen Gesprächen. Aus Rücksicht auf die zugesicherte Anonymität wurde auf eine genaue Quellenangabe verzichtet.

Die für die verwendete Empirie beschriebene Vorgehensweise zieht schnell die Frage nach der Validität und Relevanz der Aussagen nach sich. Entscheidend für die Gültigkeit und Zuverlässigkeit empirischer Forschung ist, „daß man versucht, die empirische soziale Welt so darzustellen, wie sie für die Untersuchten tatsächlich existiert“ (Lamnek 1988, S. 142). Dementsprechend wurde einigen Befragten eine erste Fassung dieses Textes vorgestellt. Intention war, von den befragten Experten selbst eine Einschätzung der Validität des Textes zu bekommen. Diese fanden sich und ihre Probleme richtig dargestellt. Dabei zeigte sich, daß in einem Betrieb der Text inzwischen sogar an Bewerber um Stellen in der Konstruktion weitergegeben worden war. Er sollte – nach Aussagen eines Gruppenleiters – den Bewerbern klarmachen, „was Konstruktion wirklich bedeutet“.

2. „Ein Unterschied zwischen Theorie und Praxis besteht immer“ – Der Praxischock

Ingenieurstudenten lernen während ihres Studiums neben dem Grundlagenwissen, wie man mit ingenieurmäßigen Methoden ein Problem löst. Der sogenannte Praxischock frischgebackener Ingenieure besteht in der Erkenntnis, daß die technische Lösung eines Problems nur einen kleinen Ausschnitt der betrieblichen Realität ausmacht.

Ingenieure betrachten ihr eigenes Studium hinsichtlich der Verwertbarkeit des angehäuften Wissens sehr kritisch. Sie beklagen eine zu hohe Spezialisierung bei gleichzeitigem Fehlen fundamentaler Kenntnisse über betriebliche Abläufe und grundlegende Randbedingungen einer Ingenieur Tätigkeit. Im Studium lernt man – mit sehr hohem Aufwand und persönlichem Einsatz – zunächst einmal eine allgemeine Arbeitsfähigkeit: „Im Studium lernen wir das logische Denken, und das brauchen wir eigentlich auch.“ Dies ist eine notwendige – aber wie gezeigt werden wird – nicht hinreichende Bedingung für eine Berufstätigkeit als Ingenieur. „Na gut, ich meine, ein Studium ist ein Training, daß man Probleme schnell bewältigt, selbständig bewältigen kann.“

Die Ausbildung an den Hochschulen ist sehr auf die mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundlagenfächer fixiert: „Gut, in der Hochschule lerne ich in allererster Linie rein naturwissenschaftliche Dinge. Berechnung irgendwo.“ Die starke Ausrichtung auf die mathematischen Grundlagen wird von den befragten Ingenieuren aus zwei Gründen sehr kritisch betrachtet: Auf der einen Seite kommen die gelernten Methoden im betrieblichen Alltag kaum zum Einsatz; auf der anderen Seite stehen aber andere wichtige Voraussetzungen für eine Ingenieur Tätigkeit gar nicht auf dem Lehrplan. „Im Studium berechnet man Schraubenverbindungen. Wenn Sie eine hochbelastete Schraubenverbindung berechnen wollen, dann rechnen Sie ohne Probleme 50 DIN A4-Seiten voll. (...) Das Rech-

nungsverfahren ist nach DIN genormt und wirklich so ausführlich. Für normale Anwendungsfälle ist das sicherlich nicht sinnvoll. Da gibt es ja auch Computerprogramme, das macht keiner mehr mit der Hand. Im Studium lernt man auch, das mit der Hand zu rechnen. Das ist aber im normalen Maschinenbau, wie wir das betreiben, mit Sicherheit nicht relevant. Es ist irgendwo die Erfahrung oder das Gefühl oder das Gespür, daß man die oder die Schraube nimmt. Das reicht aus, man muß das nicht alles berechnen.“

Die Ingenieure geben an, daß sie – grob geschätzt – nur 10 bis 20% des Lehrstoffes für ihre Tätigkeit benötigen. Ein Extremfall ist hier sicherlich ein Ingenieur, der die gelernten mathematischen Methoden nie benötigt: „Ich weiß nicht, ob man die Erfahrung, die ich gemacht habe, als Praxisschock bezeichnen kann. Ich meine, ein Unterschied zwischen Theorie und Praxis besteht immer, das läßt sich nicht wegdenken. Aber meine Erfahrung war ja die, daß ich gesagt habe, gut, was ich in der (Fachhoch-)Schule gelernt habe, ist eigentlich nicht erforderlich. (...) Da fragt man sich, warum habe ich das alles gelernt? Was man braucht, ist Dreisatzrechnung, das braucht man – und Prozentrechnung.“ Ein anderer Entwickler käme (fast) mit seinem Abiturwissen aus: „Das Unistudium hätte nicht sein müssen für den Job, den ich hier ausübe. Selbst wenn man nur das Abitur hätte und sich in der Branche eingearbeitet hätte, wäre man schon fast auf einem ähnlichen Stand.“

Diese Einschätzung, daß man sich das benötigte Wissen so schnell aneignen (und die Erfahrungen mit den zahlreichen Randbedingungen machen) könnte, wird sicherlich nicht von allen Ingenieuren geteilt. Sie verweist aber auf die Hilflosigkeit, mit der die frischgebackenen Ingenieure in die Betriebe kommen, und auf die hohen Anpassungsleistungen, die sie innerhalb kürzester Zeit vollbringen müssen, um dann als Ingenieur „arbeitsfähig“ zu sein. Die jungen Ingenieure erfahren die Diskrepanz zwischen ihrem „Zuviel“ an angehäuften Wissen und dem Defizit an praktischen Erfahrungen als teilweise frustrierend. „Man hat ja immer so Vorstellungen, wenn man hier anfängt. Man kriegt einen Packen voll Wissen mit von der Uni: Das hat man ja wirklich alles mal gelernt, was da so in den Regalen steht. Und dann sagt einer, ach, das brauchen wir alles gar nicht. Am besten guckst du, wie machen es die anderen und dann mach es genau so. Das war schon frustrierend.“ Den Absolventen fehlt zu Beginn ihrer betrieblichen Tätigkeit teilweise das Wissen um ganz „banale“ Dinge: Sie sind Maschinenbauingenieure, aber „sozusagen ohne Wissen“, wie es einer ausdrückt: „Jeder Techniker, jeder technische Zeichner konnte mir damals etwas vormachen. Da war allein schon der ganze Formalismus, der an der Uni nicht gelehrt wird. Also, daß man da jetzt eine Stückliste anlegen muß, daß ich die Teilenummern verwalten muß, davon habe ich keine Ahnung gehabt. Die haben mich ins kalte Wasser geschmissen, und da habe ich ein Jahr gerudert, bis ich da halbwegs auf dem Stand der anderen war.“

Selbst das „Handwerkszeug“ eines Konstrukteurs, das Wissen darum, wie eine Zeichnung erstellt wird, fehlt teilweise: „Ich habe die Zeichnung der AV (Arbeitsvorbereitung) abgeliefert, und dann hat das Material gefehlt, die Nummer war nicht richtig angelegt, die Bearbeitungszeichen waren nicht an der richtigen Stelle.“ Hier zeigt sich auch, daß in der Hochschulausbildung noch an Vorstellungen einer Arbeitsteilung festgehalten wird, die sich – auch infolge der Einführung von CAD-Systemen – in der betrieblichen Realität überholt hat. Danach sind Ingenieure für die Ideen und Entwürfe zuständig, die dann von Technikern und Zeichnerinnen maß- und fertigungsgerecht ausgearbeitet werden. „Im Studium wurde kein so großer Wert auf solche Sachen (formgerechte Zeichnung) gelegt, weil so etwas eigentlich die Arbeit oder die Aufgabe eines Technikers oder Zeichners ist. Die Aufgabe eines Ingenieurs ist es, Entwürfe und Vorschläge, also das Größere, zu bringen. Die Ausarbeitung obliegt ja in der Regel dem ‚niederen Fußvolk‘, das sich dann mit solchen Sachen auseinandersetzen muß.“

In der betrieblichen Praxis müssen sich die Ingenieure zudem auf die dortigen Rahmenbedingungen einlassen. Das Studium ist dagegen auf die technisch beste Lösung ausgerichtet, für die alle Materialien zur Verfügung stehen und deren Kosten relativ irrelevant sind. Wenn man aus dieser „Schlaraffenlandmentalität“ kommt, wirkt es zunächst wie ein Schock, betriebliche Rahmenbedingungen berücksichtigen zu müssen. „Man hat im Studium gar keine Ahnung gehabt, welches Material man nimmt, daß man darauf achten muß, daß das Rohmaterial im Haus ist und solche Sachen. Ja dort (an der Universität) hat man alle Möglichkeiten, man hat alle Materialien zur Verfügung, man muß nur zusammenfügen. Aber daß man jetzt auf viele Sachen Rücksicht nehmen muß, was so im täglichen Leben vorkommt. (...) Welche Maschinen habe ich im Haus, können die das überhaupt bearbeiten, oder muß ich das nach auswärts geben? Muß ich das härten?“

Ebensowenig sind die Absolventen darauf eingestellt, ständig Kompromisse machen zu müssen. „Man kriegt nicht alles unter einen Hut. Man muß immer Kompromisse eingehen, vom Preis her, von der Funktion her. Es ist nur die Frage, wo bewege ich mich. Lege ich mehr Wert auf das eine oder auf das andere?“ Ein Ingenieur erläutert dies anhand der Entscheidung über das Schmiersystem in einer Maschine: „Das Schmieren mit Luft/Öl ist das Allerbeste. Aber da sage ich gleich, das hat seinen vierfachen Preis. Da ist die Frage, lohnt sich das, oder sollte man vielleicht nach fünf Jahren, wenn das Lager ausfällt, dieses lieber wechseln? Ist das vielleicht sogar billiger, als wenn wir eine Superluxuslösung einbauen? (...) Solche Probleme sieht man erst in der Praxis. Im Studium hat man sich mehr damit beschäftigt, ob es auseinanderreißt oder nicht, wenn ich Kraft darauf gebe. Das war das Allerwichtigste.“

Die Absolventen stehen unter dem Druck, sich das benötigte Wissen schnell anzueignen und die Erfahrungen mit den betrieblichen Randbedingungen schnell

in eigene Handlungsstrategien umzusetzen. Aus dieser Perspektive erscheint das Studium dann als Voraussetzung, um diese Anpassungsleistungen möglichst schnell zu vollbringen. „Man schafft sich da rein. Ich habe das dann relativ schnell gelernt. (...) Man hat einen Anschuß gekriegt; dann hat man die Zeichnung hurtig nachgebessert und wieder runter und noch einmal. Das ging ein paarmal hin und her. (...) Es ist ja der Sinn eines solchen Studiums, daß man lernt, sich selbständig in einen Problembereich einzuarbeiten.“

Der „Praxischock“ liegt (auch) darin begründet, daß im Betrieb das sachlich-technische Argument nur eines von vielen ist, daß es viele andere Sichtweisen auf das Produkt und die Firma gibt. „Sich hier zurechtzufinden, ist wahrscheinlich auch schwer zu lehren. Ich weiß nicht, man muß selbst seinen Weg finden. Ich hätte früher nicht gedacht, daß es so wichtig ist und so einen großen Teil der Arbeitsenergie einnimmt, sich zurechtzufinden, sich zu verkaufen, mit den Leuten zu sprechen.“

3. „Konstruktion ist eine der komplexesten menschlichen Arbeitsweisen überhaupt“ – Die Berücksichtigung komplexer Anforderungen

Der Praxischock der Entwicklungsingenieure besteht in der Erkenntnis, daß die technisch-funktionale Sichtweise auf die zu entwickelnde Maschine nur eine von vielen möglichen ist. Entwicklungsingenieure müssen sich in ihrem Alltag mit den Anforderungen von Kunden und Lieferanten sowie von Vertretern anderer Prozesse (Vertrieb, Produktion, Controlling) auseinandersetzen. Gleichwohl bleibt ein kreatives Moment, die Generierung von Ideen und deren Umsetzung in eine konkrete Maschine, die Kernaufgabe der Entwicklungsingenieure. Dieser Prozeß soll hier nicht im Detail beschrieben werden, er soll nur im Hinblick auf seine Nichtplanbarkeit und die Entgrenzung von Arbeit und Arbeitszeit dargestellt werden (vgl. 3.1). Im Anschluß daran werden exemplarisch zwei Bereiche beschrieben, in denen Entwickler sich mit den Anforderungen anderer Personengruppen auseinandersetzen müssen.

- Entwickler müssen die von ihnen entwickelte Maschine aus der Perspektive der Kunden (und der dortigen Bediener) betrachten können. Sie müssen von dort kommende Anforderungen nachvollziehen und berücksichtigen können (vgl. 3.2).
- Entwickler müssen ebenso Anforderungen aus der Produktion berücksichtigen und nachvollziehen können (vgl. 3.3).

Deutlich wird, daß bei einem Entwicklungsprozeß nicht allein der technische Blick auf das Produkt relevant wird, sondern daß die Entwickler sehr unter-

schiedliche Anforderungen berücksichtigen müssen, die sich nicht in schematische Abläufe pressen lassen. Dies gilt auch für die Generierung von Ideen.

3.1 *„Die Idee kommt meistens, wenn man gedanklich frisch ist“ – Die Nichtplanbarkeit von Ideen und die Entgrenzung von Arbeit und Freizeit*

Neuentwicklungen bergen immer Unwägbarkeiten in sich, weil zu Beginn des Projektes nicht klar sein kann, ob die angestrebten Ziele auch wirklich erreicht werden können. „Man sitzt da vor dem leeren Blatt. Wenn man wirklich etwas Neues macht, ist das eigentlich nicht planbar.“ Die Entwickler müssen sich aber auf solche Unwägbarkeiten einstellen, sie müssen lernen, damit umzugehen. „Diejenigen, die in die Konstruktion gehen, sind schon eine besondere Spezies. Der eine oder andere ist dafür nicht geeignet, denen fehlt der intellektuelle Zugang zum Konstruieren. Die umreißen nicht die ganze Thematik, was das ist.“

Entwickeln heißt, Ideen zu haben, diese auf ihre Machbarkeit und Stimmigkeit hin zu überprüfen und sie dann zu realisieren. Dabei ist gerade eine der Kernaufgaben, die kreative Generierung von Ideen, nicht planbar. Sie findet oft nicht einmal am Arbeitsplatz – im Büro – statt, weil sich die Entwickler dort zu sehr abgelenkt fühlen. Sie können sich dort nur schlecht auf wirklich neue Ideen und neue Wege konzentrieren, weil sie durch andere dringende Aufgaben und Anfragen sowie äußere Einflüsse abgelenkt werden. Damit fehlen die Ruhe und die Konzentration, um den Ideen zum Durchbruch zu verhelfen. „Man müsste sich bei uns echt in ein Kämmerchen hineinsetzen, ohne Telefon natürlich, zusperren, den Schlüssel in einen kleinen Safe mit Zeitschloß legen, der erst wieder nach acht Stunden aufgeht. Dann darf keiner kommen und an die Tür trommeln. (...) Das ist momentan bei uns – meiner Ansicht nach – ein großes Problem. Es sind viel zu viele Leute in einem viel zu kleinen Raum. Das geht schon los mit der Luft. Im Sommer wird es warm, jeder hat immer ein bis zwei Computer am Laufen, die Laserdrucker, die Ozon verbreiten, stehen drin und so fort. Das geht weiter beim Telefon. Da ist der Lärmpegel einfach da, teilweise wird mit Lautsprechern telefoniert. Schon allein das Geläute, der eine ist nicht da, der andre geht nicht hin. Es sind auch immer irgendwelche Besucher da, oder es stehen immer irgendwelche Leute beieinander und diskutieren. Es ist einfach eine Sache, wo man sich nicht richtig konzentrieren kann, es ist sehr schwer, sich zu konzentrieren. Auch das gesamte Umfeld, es ist viel zu wenig Platz.“

Diese Störungen von außen sind aber nur ein Moment, das die Konzentration erschwert. Ebenso erschweren die eigenen „inneren Ablenkungen“ die Konzentration. „Wenn man sich in der Arbeit wirklich die Zeit nimmt, sich zurückzulehnen und dann irgendwas zu durchdenken, dann kommen schon auch Ideen.

So ist das nicht. Aber es kommt nicht so oft vor. Vor allem dann nicht, wenn man Probleme hat und man ziemlich dick drinsteckt im Strudel. Dann blockiert allein schon die Umgebung in der Arbeit, also zumindest mich. Dann ist man hier, und dann fragt man sich, wo fange ich am besten an. Man weiß dann gar nicht, was mache ich jetzt am besten zuerst. In der Arbeit ist man eben unter Druck: Ich muß jetzt etwas tun, und was ist jetzt wieder das Wichtigste? Wenn einem zu Haus oder irgendwo anders die Gedanken kommen, dann beißt man sich an irgendeinem Gedanken fest. Dann ist man nicht so im Druck, ich muß jetzt etwas anderes, etwas wichtiges machen, was absolut nicht in Vergessenheit geraten darf. Man beschäftigt sich im Hintergrund immer mit dem Gedanken, ob es vielleicht nicht doch noch etwas anderes gibt, das von der Zeit her mehr drängt. Das ist vielleicht das, was einen teilweise hemmt. Wenn man das andere hinter sich gelassen hat und sich mit einer Problematik auseinandersetzen kann und sich sagen kann: ‚Ich hocke mich da jetzt hin, und das wird jetzt in den nächsten Tagen hauptsächlich bearbeitet‘, dann schaut es auch in der Arbeit anders aus. Dann ist man auch dort freier. Aber wenn verschiedene Sachen parallel laufen, dann ist es schwierig, wenn man dann von einem zum anderen springt.“

Zudem lassen sich die Ideen nicht erzwingen, sie brauchen ihre Zeit und ihren Raum zum Reifen. „Das ist eigentlich im Endeffekt nur im Kopf. Sie haben ein Problem und keine Lösung, die Ihnen zusagt. Und dann laufen Sie tagelang in der Wohnung mit diesem Problem durch die Weltgeschichte. Irgendwann sehen Sie etwas und denken dann: So könnte es gehen. Das kann etwas ganz anderes sein, das wird dann einfach auf dieses Problem übertragen. Oder man läßt das einfach nur solange im Kopf arbeiten, bis einem irgendwo die Idee kommt. Ich habe schon an den unmöglichsten Orten eine gute Idee gehabt.“ Ein Entwickler flüchtet aus dem Büro an die „alte“, schon realisierte Maschine, um sich dort inspirieren zu lassen. „Wenn man dafür tagsüber am Schreibtisch sitzt und alle zwei Minuten klingelt das Telefon, kommt nichts dabei heraus. Man geht dann abends in Ruhe an die Maschine und stellt sich in der Montage hin und denkt nach, überlegt. Oder man flüchtet, o.k., ich haue jetzt ab, und ich gehe dann wirklich an die Maschine. Am besten in der Mittagspause. Da ist auch nicht soviel los, daß da Tausende in der Montage wieder etwas wissen wollen. Man hat dann für sich Ruhe.“

Die meisten Entwickler können die Problemstellungen nach Feierabend nicht einfach fallen lassen; sie werden davon „verfolgt“. „Der gute Konstrukteur, der gute Entwickler, entwickelt auch weiter, nachdem er am Abend seine Stempelkarte in die Uhr gesteckt hat. Wenn man ein Problem hat, dann will man ja eine möglichst gute Lösung finden. Dann hat man das Problem irgendwie drin und geht mit ihm schwanger. Dann kann es auch einmal sein, daß man irgendwo abends um 10 Uhr seine Ideen hat.“

Die Suche nach einer Lösung sprengt das Korsett eines normalen Arbeitstages, die Grenzen zwischen Arbeit und Freizeit verflüssigen sich. Dabei kann es eine Last sein, die Probleme mit nach Hause zu nehmen. „Also, ich würde einmal sagen, ein guter Konstrukteur kann nicht, wenn er rausgeht, sofort abschalten. Er muß sich damit weiterbeschäftigen. (...) Er muß mit Engagement arbeiten, d.h. mit Bedacht rangehen, auch einmal etwas überschlafen, auch sich abends noch einmal etwas überlegen, damit man schlafen kann. Es gibt so Tage, die können einen schon mitnehmen, wenn man eine Lösung sucht und sie nicht findet, wenn man eine Lösung hat und nicht weiß, ob sie funktioniert.“ Manchmal können die Entwickler nicht einmal in der Nacht „abschalten“. „Das Konzept entsteht im Kopf. Das geht irgendwo nachts, Du träumst davon. Aber es ist nicht wie im Zeichentrickfilm, daß Du aufwachst und die Lösung hast. Man kann nachts schlecht abschalten. Das ist nicht jeden Tag so, aber ab und zu träumt man von seiner Konstruktion.“

Die Ideen entstehen quasi aus einem Einkreisen des Gegenstandes. Ideen benötigen Zeit, um zu reifen, und sie benötigen einen „Raum“, um sich zu entfalten. Abstand und Ruhe scheinen Voraussetzungen für den Reifungsprozeß von Ideen zu sein. Dieser Prozeß läßt sich nicht erzwingen, er ist – auf den ersten Blick – unabhängig vom Tun, er hat seine eigene Logik. „Die Ideen kommen ganz unterschiedlich, teilweise auch zu Hause. Sie kommen meistens, wenn man frisch ist – gedanklich frisch ist. Das ist bei mir eher in der Frühe, in der Arbeit ist man oft blockiert. (...) Wenn ich im Auto sitze, dann mache ich mir manchmal über meine Sachen viel intensiver Gedanken als in der Arbeit. Man fährt rein, und früh beim Duschen oder beim Zähneputzen hat man dann die schönsten Ideen.“

Zunächst hat es hier den Anschein, als sei die Entwicklung von Ideen und Konzepten ein autonomer, von der Umwelt und deren Anforderungen losgelöster Prozeß. Jedoch sind selbst in diesen frühen Stadien schon zahlreiche externe Anforderungen zu berücksichtigen. Wie die Entwickler mit diesen Anforderungen umgehen, wie sie diese erkennen und in ihren Konzepten und Ideen berücksichtigen, soll zunächst anhand der Kundenanforderungen dargestellt werden.

3.2 *„Man muß zum Kunden rausfahren und sich das anschauen“ – Kenntnis der Kundenanforderungen*

Ein Entwickler muß wissen, was mit seinen Entwürfen geschieht. Er muß wissen, unter welchen Bedingungen sein Entwurf realisiert wird, und er muß wissen, was die Einsatzbedingungen für die von ihm konstruierte Maschine sind. „Ich würde sagen, ein guter Entwickler muß nahe an der Praxis sein, der schlechte ist weg von der Praxis. (...) Praxis heißt, daß er die Einsatzbedingung für seine Ent-

würfe kennt; und daß er diese nicht nur vom Hörensagen kennt, sondern daß er sie wirklich einmal gesehen hat.“

Um die Bedingungen, unter denen die Maschinen eingesetzt werden, für die eigene Entwicklungsarbeit berücksichtigen zu können, muß man jene einmal am eigenen Leib erlebt haben. „Ja, was rauher Betrieb heißt, was Stahlwerk heißt, das kann man eigentlich erst dann beurteilen, wenn man da einmal drin gestanden ist. Allein dieser Krach, das ist unglaublich. Daran denkt man ja nicht bei einem Stahlwerk. Wenn man das so im Fernsehen sieht, wird das meistens noch so mit Musik hinterlegt. Aber das macht einen Höllenlärm, einen Höllenlärm.“ Es ist wichtig, einmal im Stahlwerk gewesen zu sein, damit man eine Vorstellung hat, „wie die Leute damit umgehen. (...) Man muß einfach lernen, was die für ein Verhältnis zu so einer Waage haben. Für einen Bediener ist das ja nichts anderes als irgendeine Einrichtung, die einen Gewichtswert abliefert.“

Diese Umgebungs- und Einsatzbedingungen müssen im Entwicklungsprozeß berücksichtigt werden. „Wenn irgend etwas auf Anschlag fährt, irgend etwas auf eine Schraube oder auf einen Dämpfer fährt, dann kann man damit rechnen, daß sich hier Holzstaub aufbaut. Wenn das jetzt auf einen Zehntelmillimeter genau anschlagen soll, dann muß man irgend etwas vorsehen, daß sich da kein Staub aufbaut. Wenn da ein Span hineinkommt, dann haben wir sofort zwei oder drei Zehntel oder sogar einen Millimeter, der da draufgepackt ist. Das muß man dann mit Schaltern machen, die nicht so feinfühlig sein dürfen.“

Das Verschmutzungsproblem taucht genau so beim Bau von Textilmaschinen auf. Nur wenn man weiß, daß eine Spinnmaschine auch dann noch laufen soll, wenn sie im Dreck versinkt, kann man darauf in seinem Entwurf eingehen. „Ich gehe immer davon aus, daß in der Konstruktion nicht nur die Funktionsprobleme gemacht werden, sondern auch die Qualitätsprobleme. Nur das ist im Endeffekt eine gute Konstruktion, bei der man so wenig wie möglich falsch machen kann. Wenn irgend ein Punkt drin ist, den man falsch machen kann, dann wird er auch falsch gemacht, irgendwann. (...) Es kommt vor, daß nach einiger Zeit (bei einem in die Serie eingeführten Produkt) doch noch Probleme auftauchen. Die tauchen vielleicht erst nach zwei Jahren auf, wenn sich die Toleranzkette so ungünstig addiert hat, daß etwas passiert ist. Man hat vielleicht das eine oder das andere nicht berücksichtigt, denn ein Nullfehlerprinzip gibt es in der Sache eigentlich nicht.“

Solche Risiken können nicht gänzlich verhindert und ausgeschlossen werden, sie können nur minimiert werden. Wenn schon bei der Entwicklung der Teile berücksichtigt wird, daß im Prozeß der Herstellung oder der Anwendung Fehler auftreten können, wird das Risiko eines späteren Ausfalls zumindest reduziert. „Das macht meiner Ansicht nach einen guten Konstrukteur aus, daß er sagt, ich gebe meiner Baugruppe oder meinen Teilen einen großen Sicherheitsvorsprung mit. Dann kann man mit dem da draußen viel Blödsinn machen, und das Ding

funktioniert trotzdem noch. (...) Das ist meiner Ansicht nach schon irgendwo ein wichtiges Kriterium, daß man mit seiner Entwicklung nicht unbedingt so hart an der Grenze ist, sondern diesen gewissen Vorsprung mitgibt, eine Toleranz. Wenn Sie ein Auto kaufen, schauen Sie auch nicht zuerst im Fahrzeugschein nach der Höchstgeschwindigkeit. Wenn Sie schnell fahren, dann eben so schnell, wie die Kiste geht. Und wenn der Motor zwicket, dann sagen Sie auch nicht: ‚Ich bin fünf Kilometer pro Stunde zu schnell gefahren, da bin ich jetzt selber schuld‘, sondern Sie sagen: ‚So ein Gelump.‘ Das ist meiner Ansicht nach schon ein wichtiges Kriterium, daß man damit nicht unbedingt zu hart an die Grenze geht, sondern diesen gewissen Vorsprung mitgibt, eine Toleranz.“ Um „dieses Gefühl dafür zu bekommen, welche Einsatzbedingungen das Ding hat“, „muß man eben zum Kunden rausfahren und sich das anschauen“.

Für den Kunden ist entscheidend, wie gut die Maschine im täglichen Betrieb läuft. „Manches ist idiotensicher, und manches funktioniert eben nur, wenn es ideal eingestellt wird. (...) In der Regel will der Kunde eine Maschine haben, die er einschaltet und dann läuft das Ding. Er will nicht, daß – sobald er sich umdreht – irgendwelche Warnlampen angehen und er wieder etwas machen muß. (...) Er will eine bedienerfreundliche Maschine und nicht, daß er für eine kleine Einstellung gleich mit einem riesigen Werkzeugwagen kommen muß und womöglich noch zwei Stunden im Handbuch nachlesen muß, wie er das alles machen soll.“

Es zeichnet einen guten Entwickler aus, daß er einen Perspektivenwechsel vornehmen kann, daß er die Maschine aus der Perspektive der Kunden und Bediener betrachten kann, daß er sich vorstellen kann, wie Kunden und Bediener damit umgehen. „Wenn man diese Maschinen baut und bei uns im Neuzustand sieht, da ist immer alles sauber. Wir gehen davon aus, daß die Wartung immer tadellos ist. Aber das ist beim Kunden draußen nicht so. Wenn da im Wartungsplan steht, daß man nach 1.000 Stunden alle Schrauben nachziehen, das Öl kontrollieren und dieses oder jenes Teil prophylaktisch auswechseln muß, dann steht das da zwar drin. Vielleicht wird das während der Garantiezeit gemacht, aber später mit Sicherheit nicht. Der Kunde sagt sich einfach, o.k., ich lege mir das Teil vielleicht aufs Lager, dann kann ich es austauschen, wenn es kaputt geht. Aber vorher tausche ich es nicht aus, weil es mir zum Wegschmeißen noch zu gut ist. Ist ja recht, ich meine, er kauft ja die Maschine, und er kann damit machen, was er will. Die Aussage ist eigentlich folgende: Man kann zwar immer davon ausgehen oder man kann danach konstruieren, daß man sagt, das Ding ist immer wunderbar geölt und immer wunderbar sauber. Aber die Praxis zeigt eben, daß es nicht so ist, daß das Ding auch funktionieren muß, wenn man es gar nicht mehr sieht vor lauter Dreck.“

3.3 „Der Kontakt zur Produktion ist wichtig“ – Kenntnis der Anforderungen der Produktion

Einen gänzlich anderen Blick auf die Maschine haben die Mitarbeiter aus Fertigung und Montage als diejenigen, die die Konstruktion umsetzen müssen.

Gute Entwickler berücksichtigen die Belange derjenigen, die später mit den Teilen umgehen müssen. „Das muß also relativ einfach und prozeßsicher montierbar sein.“ Die Berücksichtigung von Fertigungsbelangen heißt auch, sich genau zu überlegen, ob die gestellten Anforderungen wirklich nötig sind. „Die Fertigung hat nicht unbedingt einen Spaß daran, wenn sie ein Loch von einem Millimeter Durchmesser zwei Meter durch ein Teil durchbohren muß. Der schlechte Konstrukteur, der wird sagen, gut, die werden das schon irgendwie machen. Wenn sie das dann machen, dann kostet dieses Teil soviel Geld bei der Herstellung, daß es Unsinn ist. Da muß man eine andere Lösung suchen. Es gibt auch andere Dinge: (...) Man einigt sich z.B. auf eine Standardschraube oder auf ein gewisses Sortiment an Schrauben, damit der Monteur draußen nicht zehn verschiedene Schraubenzieher braucht und 25 Inbusschlüssel und Sechskantschlüssel und alles mögliche. Man beschränkt sich nach Möglichkeit so, daß der dann mit möglichst wenig Werkzeug arbeiten kann. Der gute Konstrukteur versucht, gleiche Teile mehrfach zu verwenden. Das muß jetzt nicht über die große Schiene laufen, indem das ein Standardteil wird. Das kann man einfach für sich im kleinen auch machen. Da spielen auch die Kosten mit hinein, weil die Stückzahlen dann größer werden.“

Ebenso wie man die Einsatzbedingungen beim Kunden nur aus direkter Anschauung beurteilen kann, benötigt man auch für die Beurteilung der Fertigungsbedingungen die direkte Anschauung. Nur so bekommt man mit, was alles schief laufen kann. „Ich bin relativ oft da drüben in unserer Montage. Einerseits ist es nicht schlecht, wenn man einen guten Kontakt zu den Leuten hat. Andererseits ist man dann immer hautnah an den Problemen. Wenn es irgendwo zwick, dann bekommt man das sofort mit. Die sagen inzwischen relativ schnell, was los ist. (...) So ist z.B. in der Zwischenwand des Roboters ein Loch drin, in das eine Buchse hineingesteckt wird. Ich war drüben (in der Montage), und da sehe ich jemanden im Loch umeinanderfeilen. Die Wand war bestimmt schon vier bis fünf Jahre in der Serie. Ich sage: ‚Feilst Du das Loch aus?‘ Er sagt: ‚Ja, weil die Buchse nicht reingeht, das Loch ist zu klein.‘ Ich frage: ‚Wie oft kommt das denn vor?‘ Dann sagt er: ‚Das ist schon immer so.‘ Ja, wenn man das in der Konstruktion weiß, dann macht man das Loch eben größer, das ist doch keine Affäre. Aber man muß es eben erfahren. Wenn man die Baugruppe fertig zusammengebaut sieht, dann ist die Buchse in dem Loch drin. Da paßt das ja.“ Direkt auffällig werden solche Unsinnigkeiten aber erst dann, wenn sich die Konstrukteure in der Produktion blicken lassen und auf solche Probleme hin angespro-

chen werden können. „Solche Sachen erfährt man eigentlich nur dann, wenn man regelmäßig drin ist.“

Genausowenig wie es „die“ Kundenanforderungen gibt, gibt es „die“ Anforderungen aus der Produktion. Dies sei am Beispiel der Vermaßung erläutert. Derjenige, der ein Teil bearbeitet, benötigt eventuell ganz andere Maße als derjenige, der das Teil prüft oder montiert. „Ich kann ja so bemaßen, daß ich zwar mein CAD-Programm relativ leicht erstellen kann, daß diese Maße aber nachher kein Mensch mehr messen kann.“ Dabei genügt es nicht, wenn der Entwickler „nur“ fertigungsgerecht zeichnet; die Ansprüche der Qualitätskontrolle können ganz andere sein: Das, was der Zerspaner durch die Angabe von Winkelfunktionen und Hilfslinien leicht fertigen kann, kann sich für den Qualitätskontrolleur als schwer meßbar herausstellen. „Ja gut, ich meine, man kann das schon messen, aber diese Überprüfung wird mit Sicherheit nicht genauer und auch nicht leichter. Ich meine, da muß man einen Kompromiß machen. Und im Notfall muß man dort ein zusätzliches Maß angeben. Das kann durchaus in Klammern stehen, daß man sagt, o.k., das ist für den Fräser und das ist für den Prüfer. (...) Es ist heutzutage, im Zeitalter des CADs, kein Thema, da zusätzlich ein Maß zu machen. Das ist kein Aufwand, das ist eine Sekundensache. Das mag früher am Brett vielleicht schlimmer gewesen sein, daß man gesagt hat, das muß nicht unbedingt sein. Das Teil wird ja nicht nur einmal gemacht, sondern es werden ja immer wieder Lose aufgelegt. Wenn ich dem den Winkel draufschreibe, dann bekommt er diese Information jedes Mal, wenn er die Zeichnung bekommt. Ansonsten muß er jedes Mal rechnen. Das gleiche gilt auch für Abmaße von irgendwelchen Passungen usw. Wenn das immer auf der Zeichnung steht, dann ist die Information immer wieder greifbar. Das ist mit Sicherheit ein gewisser Mehraufwand beim Zeichnen, aber ich meine, es lohnt sich.“

Die Anforderungen der Fertigung zu berücksichtigen stellt keine „selbstlose“ Freundlichkeit dar; sie schafft die Voraussetzung dafür, daß die Teile auch in der gewünschten Qualität gefertigt werden. „Es ist nicht nur so, daß man sagt, ich mache die Zeichnung so, daß die in der Fertigung jemandem gefällt, sondern das hat einen tieferen Hintergrund. Ich sage immer: ‚Wenn man eine schlampige Zeichnung vor sich hat, dann wird man sich auch nie Mühe geben, irgendwo saubere Teile herauszubringen.‘ Das hat mit Qualität und Motivation zu tun. Wenn die Zeichnung übersichtlich und leicht verständlich ist und es einem klar ist, mit was man es zu tun hat, dann hat der Mann an der Maschine auch mehr Spaß an der Arbeit. Dann ist wahrscheinlich die Qualität höher und die Ausschußquote geringer. (...) Man sollte in der Zeichnung Unklarheiten vermeiden. Wenn bei einem Teil das Material egal ist, dann mache ich einen Hinweis auf der Zeichnung: Du kannst auch einen anderen Stahl verwenden. Dann muß sich der Zulieferer nicht einen abrechen, um genau diese Stahlsorte herzubringen oder dieses oder jenes Material. Oder Oberflächenhinweise sollten in der Regel

immer an der gleichen Stelle auf der Zeichnung sitzen. Wenn das Ding verzinkt werden soll, dann steht das immer rechts unten. Dann weiß der, was Sache ist, und wenn nichts dort steht, dann ist nichts. Sonst muß er die ganze Zeichnung absuchen, ob vielleicht doch irgendwo etwas steht. Das sind viele kleine Kleinigkeiten, die aber meiner Ansicht nach der Fertigung das Leben erleichtern.“

Die Entwicklung legt mit der Konstruktion auch das Fertigungsverfahren fest, und obwohl die Konstruktion theoretisch in Ordnung ist, ist es für die Fertigung extrem schwierig, eine betriebssichere Lösung zu erreichen. „Die Entwicklung kann es sich einfach machen: Man schreibt Toleranzen rein und ist von der Konstruktion her auf der sicheren Seite. Man kann sagen: ‚Es geht weiter an die Fertigung, jetzt schaut ihr, wie ihr damit zurechtkommt.‘ Aber dann gibt es oft Probleme mit der Prozeßsicherheit. Da werden einzelne Teile vermessen, die passen. Aber das läßt sich dann bei Masseteilen nicht mehr über die Gesamtzahl der Teile halten. Das führt dann irgendwann einmal zu einem instabilen Gebilde. Irgendwann passiert etwas und erst dann wird solch ein Punkt entdeckt. Auch die Qualitätssicherung sieht nicht jeden Punkt, der im verborgenen nicht ganz betriebs-sicher ist.“

Dabei ist es sinnvoll, diejenigen anzusprechen, die mit den Fertigungs- und Montageproblemen tagtäglich konfrontiert sind. „Ich meine, das ist teilweise wirklich sinnvoll, daß man mit den Leuten spricht, die das immer machen müssen. Das weiß der Meister auch nicht so aus eigener Erfahrung. Der hat es selbst nicht so schmerzhaft erlebt wie der, der es selber machen muß. Da habe ich es dann so praktiziert, daß ich auch da (in der Montage) drin war und mit denen geredet habe. Das ist für meine Begriffe einfach effektiv.“

Nur so kann man potentielle Probleme schon im Vorfeld verhindern. „Der Kontakt zur Produktion ist wichtig, damit man da wirklich miterlebt, welche Probleme die dann mit irgendwelchen Konstruktionen haben. Auch damit man immer wieder hinterfragt: ‚Ist das mit dem Verfahren wirklich betriebssicher herzustellen? Oder haben wir da wieder so einen undefinierten Punkt, eine Grauzone, wo das nur ab und zu funktioniert?‘ Und ich glaube, daß da der Austausch immer wieder sehr wichtig ist.“

Der „Nachteil“ eines direkten Kontaktes zur Produktion liegt darin, daß die Entwickler ständig angesprochen werden. „In jedem Menschen ist ein kleiner Konstrukteur verborgen. Und wenn ich da hinten (in der Produktion) bin, muß ich mir permanent irgendwelche neuen Ideen anhören. Warum macht man das nicht so oder so? Dann muß man sich da rechtfertigen, und meistens hat es schon seinen Grund, daß man das so und nicht anders macht. Aber man muß das auf jeden Fall machen. Ab und zu haben sie auch eine gute Idee. Es ist ja nicht so, daß immer nur Blödsinn kommt. Die haben ja auch nicht den Überblick über das Gesamtsystem, wie die Abläufe sind, wie die Kosten sind usw. (...) Wenn Sie in die Montage gehen, dann müssen Sie immer einen Block und einen Stift

dabei haben, sonst können Sie sich die Sachen nicht alle merken.“ Aber es reicht nicht aus, sich die Ideen und Anregungen aufzuschreiben, sie müssen auch umgesetzt werden, um die Produktionsmitarbeiter nicht zu enttäuschen.

Diese Anforderungen an fertigungsgerechtes Konstruieren werden zwar auch an den Hochschulen immer gestellt, aber erst in der betrieblichen Praxis erfahren die Ingenieure, was dies konkret bedeutet. „Die Professoren haben zwar gesagt, wenn man konstruiert, muß man darauf achten, daß nicht nur die Funktion da ist, sondern daß auch fertigungsgerecht gestaltet wird. Wenn man etwas konstruiert, muß die Akzeptanz nachher in der Produktion da sein, weil sonst das ganze Projekt zum Scheitern verurteilt ist. Das hat man uns zwar gesagt, aber probieren durften wir das nicht.“

4. „Man muß eben sehen, daß man die Leute überzeugt“ – Entwicklung als sozialer Prozeß

Die Entwicklung einer Maschine ist immer auch ein Aushandlungsprozeß, bei dem man einerseits andere von den eigenen Ideen überzeugen muß und andererseits auf die Traditionen der eigenen Firma Rücksicht nehmen muß. Die Grenzen des (technisch) Machbaren sind dabei nicht eindeutig bestimmt, es gilt, sie auszuloten, Widerstände aufzubrechen, Überzeugungsarbeit zu leisten. Dies ist wohl die Arbeit, auf die die Absolventen am wenigsten vorbereitet sind. „Man hat die ja zu Einzelkämpfern ausgebildet.“ Für diese Einzelkämpfer steht die technische Lösbarkeit einer Aufgabe im Mittelpunkt; sie sind aber nicht darauf vorbereitet, im betrieblichen Dschungel zu agieren. Somit müssen sie sich die „Gesetzmäßigkeiten“ dieses Dschungels erst einmal aneignen. „Das, was man in der täglichen Arbeit braucht, ist gar nicht so das Technisch-Naturwissenschaftliche. Es ist eher das sich verkaufen, sich durchzukämpfen, mit den Leuten zurechtzukommen; den Weg zu dem Ziel, das man erreichen will, richtig zu finden. Die Probleme, die man hat, sind meist gar nicht die sachlich-technischen. Zwei Drittel sind anderer Art: Wie lernt man die Konkurrenz kennen? Wie überzeuge ich den Vertrieb? Wie komme ich mit dem Mann da unten am Band klar, daß er mir dieses eine Loch da reinmacht, obwohl ich es in der Zeichnung vergessen habe, ohne daß er mich wieder irgendwo anders – vielleicht bei Kleinigkeiten – madig macht? Wie erreiche ich, daß, wenn ich komme und sage: ‚Ich brauch‘ mal Deine Hilfe‘, ich da weiterkomme, daß er das dann auch macht? Wie komme ich mit Herrn X zurecht, daß er mir die Teile jetzt noch durchzieht, obwohl wir mit der Stückliste eine Woche später fertig geworden sind, als es ursprünglich vorgesehen war? Das Miteinander, der kommunikative Bereich (...) Daß man das erreicht, was man eigentlich möchte. Mit sachlichen Argumenten kommt

man oft gar nicht so weit. Man muß eben sehen, daß man die Leute davon überzeugt.“

Diese Kooperationserfordernisse zeichnen sich dadurch aus, daß die Beteiligten gemeinsam etwas entwickeln, zu neuen Lösungen kommen müssen. In dieser Perspektive ist die Entwicklung eines neuen Produkts ein sozialer Prozeß, der hier anhand von Kooperationen innerhalb der Entwicklung und mit der Produktion aufgezeigt werden soll.

4.1 „Wir setzen uns mit zwei oder drei Kollegen zusammen“ – Kooperation innerhalb der Entwicklung

Die angesprochene Kooperationsfähigkeit erstreckt sich nicht nur auf die Zusammenarbeit mit Kollegen anderer Prozesse, sie ist auch für die Zusammenarbeit innerhalb der Entwicklung entscheidend. „Ja, der eine macht dies und der nächste das. Das muß zusammenpassen, das ist ganz klar. Das habe ich (nach der Hochschulausbildung) nicht gewußt.“

Ein weiteres Kriterium ist der Blick auf die Gesamtmaschine. „Ziel dessen, was wir betreiben, ist ja, daß wir irgendwo eine funktionsfähige Gesamtmaschine haben. Es wird kein Kunde eine Maschine kaufen, weil er sagt, dieses Teil da drin gefällt mir super, und deswegen kaufe ich die Maschine, wenn der Rest der Maschine Schrott ist. Es muß immer das Gesamtsystem betrachtet werden. Das Problem ist aber, daß diese Maschinen von mehreren mehr oder weniger gut zusammenarbeitenden Abteilungen zusammen geplant wird. Diese Baugruppen an einer Maschine müssen zusammenspielen, also miteinander können. Es ist immer ein Kompromiß, den man entwickeln muß. Was für den einen ein Vorteil und kostengünstig und einfach ist, wird für den anderen sofort aufwendiger. Wenn man sich da auf beiden Seiten stur stellt, daß der eine sagt ‚Ich mache das nicht, ich mache nur das, was mir am besten gefällt‘, und der andere macht es genau so, dann ist das Ende vom Lied, daß das Gesamtsystem nicht ideal funktioniert. Es funktioniert dann nicht so, wie es funktionieren könnte.“

Die entwickelten Baugruppen müssen in eine Gesamtmaschine passen. Allein aus diesem Grund ist die Kooperation mit anderen Kollegen notwendig. „Man muß sich erst einmal zusammensetzen und ein Konzept machen. So nach dem Motto: Wie wollen wir das denn machen? Es geht ja nicht, daß beide anfangen und völlig in die falsche Richtung gehen. Zum Schluß hat der eine dann dieses gemacht und der andere jenes, und es paßt leider nicht zusammen. Man muß sich erst einmal auf ein Konzept einigen und das dann probieren. Wenn ich dann sage: ‚Mir wäre es am liebsten, wenn das so wäre‘, dann sagt der andere: ‚Geht leider nicht, weil da kein Platz ist‘ – oder was auch immer. Dann sagt er: ‚Für mich wäre es am besten, wenn man das so machen könnte‘, dann sage ich: ‚Da kommen wir nicht hin, das ist für mich zu weit weg.‘ So muß man sich da

irgendwo annähern. In der Regel funktioniert das auch. (...) Jeder versucht schon, für sich selber das einfachste und günstigste durchzusetzen. Im Endeffekt ist es immer ein Handeln und ein Schachern. Man sagt: ‚O.k., wenn Du das so machst, mach ich das an einer anderen Stelle so‘. Also in meinen Fällen bin ich mit meinem Gegenüber immer zu einer Einigung gekommen.“ Als Nebeneffekt ist damit eine – durchaus erwünschte – Kontrolle der eigenen Arbeit verbunden. „Man muß schon in der eigenen Abteilung mit Baugruppen, die von einem anderen Konstrukteur betreut werden, räumlich zusammenarbeiten. Da stößt man schon an irgendwelche Grenzen. Dann muß man in der Regel auch noch irgendwie mit der Maschine zusammenarbeiten. Man ist da sehr eingebunden, nicht eingeschränkt, aber eingebunden. Dann braucht man natürlich auch noch denjenigen, der die Software macht, weil das Ding ja irgendwo betrieben werden muß. Mit dem muß man wieder ausdiskutieren, wie das Steuerungssystem zu realisieren ist. Wenn ich zu dem sage, dieser Motor soll eine Millisekunde angesteuert werden, dann wird der sagen: ‚Die Software, die das macht, kannst Du Dir selber machen.‘ Wie gesagt, es sind wirklich mehrere beteiligt, man ist mit eingebunden. Wenn da mehr Leute dran beteiligt sind, dann existiert da ja auch noch irgendwo eine gewisse automatische Kontrolle. Ganz offensichtliche Fehler, die man selber einfach nicht sieht, fallen dann anderen auf. Da ist dann der Kollege, der sagt: ‚Schau einmal hin ...‘“

Manche Fehler werden auch eher zufällig entdeckt, ohne daß jemand gezielt nach Fehlern sucht. „Das kann sogar soweit gehen, daß das der Softwaremann ist, der das System auch ein bißchen kennt. Es kann auch der Kollege sein, der nebenan sitzt und mal herschaut oder der seine Zeichnung vom Plotter da holt und meine zufällig mitbringt. Dann wirft er vielleicht auf dem Weg einen Blick hinein und sieht das dann. Das kann auch ein Vorgesetzter sein, der einmal kommt und sagt: ‚Wie schaut es aus?‘ Das kann praktisch jeder sein. Man muß auch jedem dankbar sein, der einen darauf hinweist. Ich habe da kein Problem, wenn da eine Kritik kommt, eine berechtigte Kritik. (...) Wir machen es bei umfangreichen Baugruppenzeichnungen oft so, daß man diese einfach dem Kollegen hinlegt und sagt: ‚Schau sie Dir bitte einmal an, ob Dir da noch etwas auffällt.‘ Wenn man das selber macht, dann ist das sowieso schwierig. Sie kennen das vielleicht selber, wenn Sie einen Text schreiben: Den können Sie stundenlang am Bildschirm anschauen, der ist absolut fehlerfrei. Kaum daß man ihn ausdruckt, fehlen Leerzeilen und alles mögliche. So ist es bei der Zeichnung genauso. Die anderen sehen das dann auf dem Papier, der Kollege sieht das auf den ersten Blick (...)“

Beim Bau einer Maschine müssen die von verschiedenen Ingenieuren entwickelten Baugruppen nicht nur räumlich zusammenpassen, sie müssen auch funktional aufeinander abgestimmt sein. Beim Entwurf der eigenen Baugruppen müssen die Entwickler Rücksicht auf die gesetzten Vorgaben nehmen bzw. unter

Umständen sogar darauf dringen, daß andere Baugruppen an die eigenen Anforderungen angepaßt werden. Dies sei anhand des Beispiels des „Zusammenspiels“ unterschiedlicher Baugruppen erläutert. „Das räumliche Zusammenpassen der Baugruppen ist klar definiert. Unten ist irgend etwas und rechts und links ist irgend etwas und oben ist etwas und hinten ist etwas – und vorne vielleicht auch. So ist ein maximaler Bauraum definiert, und der läßt sich anhand von Baugruppenzeichnungen, der eigenen oder denen der Kollegen, relativ genau eingrenzen. Schwieriger ist das Zusammenspiel mit anderen Baugruppen eines anderen Aggregates: Die eine Baugruppe übernimmt das Material, die nächste muß es bearbeiten usw. Da muß man auch relativ gut in den Funktionen der anderen Roboterbaugruppen mit drin sein, damit man das irgendwie beurteilen kann. Das andere ist das SPS-Zusammenspiel mit der Maschine, d.h., unser Fahrwerk muß mit der Laufschiene der Maschine zusammenpassen. (...) Da muß man auch auf die Bauart der Laufschiene Rücksicht nehmen: Das ist geschweißtes Blechprofil von 250 mm Breite. Aber die Laufschiene wird diese 250 mm nie genau einhalten können. Also muß ich mein Fahrwerk so auslegen, daß es da ein bißchen tolerant ist. Ich kann mein Fahrwerk auch nicht so oft mit mehreren Tonnen Spannkraft in die Laufschiene pressen. Das wäre zwar ideal, aber leider ist dann ruckzuck die Laufschiene kaputt. Da muß ich natürlich schon schauen, was das Ding verträgt. Der einfachste Weg ist bei solchen Sachen immer, daß man mit dem Kollegen Kontakt aufnimmt, der für das andere Bauteil zuständig ist. Es ist zwar nicht immer gesagt, daß der sofort aus dem Stegreif sagen kann: ‚Gut, Du darfst damit 100 Newton hindrücken‘, sondern der sagt: ‚Da sollte man vielleicht vorsichtig sein, da muß man aufpassen, mal probieren.‘ Der kennt die Tücken seiner Sache, und dann kommt man im Endeffekt schon irgendwo zusammen.“

Der Blick der Kollegen sollte auch ein Korrektiv sein. Ein Entwickler vertritt die Meinung, daß die Kollegen nicht zu früh einbezogen werden dürfen, weil dann die Gefahr der kollektiven Verantwortungslosigkeit besteht. „Man muß sich das überlegen, man darf sich nicht zu früh mit einem Kollegen austauschen. Sonst wachsen die Ideen gemeinsam, die Ideen können aber auch gemeinsam falsch sein. (...) Es besteht eine Gefahr: Je mehr Leute an etwas arbeiten, desto weniger genau guckt jeder hin. Jeder verläßt sich auf den anderen. Aber ansonsten, wenn Sie da ankommen, dann sagt der auch: ‚Ja, komm, ich guck mir das jetzt an, und ich sage Dir meine Einschätzung dazu.‘ Da muß man sich dann auch Zeit nehmen, am besten dann auch vom Telefon weg. Ich greife dann ganz gerne auf die älteren Kollegen zurück oder auch mal auf den Service, weil die noch mehr Gefühl für die Sachen haben.“ Die älteren Kollegen sind häufig schon öfter mit dem aktuellen Problem konfrontiert worden. „Es werden schon über Jahrzehnte hindurch Textilmaschinen gebaut. Da gibt es immer irgendwo die Forderung, die Fäden abzutrennen. Natürlich ändern sich mit immer höheren Liefergeschwindigkeiten und anderen Materialien die Ansprüche dementspre-

chend. Aber es gibt mit Sicherheit genügend Leute, die sich schon einmal mit der Problematik befaßt haben oder zumindest mit ihr Kontakt gehabt haben. Die können dann schon auf den ersten Blick sagen, das haben wir schon vor zehn Jahren probiert, und das ist schon damals nicht gegangen. Es ist dann natürlich schon notwendig, ausdiskutieren, warum das nicht funktioniert hat. Welches die Gründe waren, oder ob das einfach ein prinzipielles Manko ist. Es kann ja sein, daß das jetzt plötzlich doch geht, weil man andere Werkstoffe verwendet oder was auch immer.“

Die Kooperation mit den anderen Kollegen ist ein ständiger Aushandlungsprozeß. Dabei macht es einen Unterschied, ob man sich an die Vorgaben des anderen Konstrukteurs mit schon bestehenden Baugruppen anpassen muß, oder ob es die Möglichkeit gibt, eine Entwicklung gemeinsam voranzutreiben und gemeinsam zu entscheiden. „Es gibt zwei unterschiedliche Aufgabenstellungen. Bei der ersten existiert das Bauteil des anderen vielleicht schon Jahre und ist fertig. Wenn ich jetzt meine Baugruppe überarbeiten und etwas Neues machen muß, dann existieren ja sowohl schon seine Zeichnungen als auch das Know-how, was so eine Baugruppe betrifft. Dann wird es von seiner Seite nur eine beratende Funktion sein. Im anderen Fall existiert das Gegenüber auch noch nicht. Es fangen also beide bei Null an. Dann haben beide Seiten das gleiche Problem. Dann muß man sich auf irgend etwas einigen. Der eine sagt: ‚O.k., ich mach das Loch, und Du machst den Bolzen.‘ Das ist immer ein fließender Vorgang. Einmal macht der eine etwas, und der andere muß sich wieder ein bißchen anpassen und umgekehrt, das wechselt. Das ist eigentlich das Angenehmere, weil man dann noch mehr Möglichkeiten hat. Das ist dann auch das Anspruchsvollere, weil man mit nichts beginnt.“

4.2 „Teamfähigkeit soll auf jeden Fall vorhanden sein“ – Anforderungen an informelle Kooperation

Gleichgültig, ob es sich bei einem Entwicklungsauftrag um die Ergänzung schon bestehender Komponenten oder um eine Neuentwicklung handelt: In beiden Fällen sind die Entwickler auf die Kooperation mit den Kollegen angewiesen. „Einkämpfer“ sind für eine solche Tätigkeit nur schlecht geeignet. Statt dessen benötigen Entwickler die Fähigkeit der Zusammenarbeit mit Kollegen. „Ich denke, Teamfähigkeit soll auf jeden Fall vorhanden sein, daß man mit den Leuten spricht, mit anderen Kollegen, auch mit der Produktion. (...) Auch Kommunikation untereinander mit den Kollegen, weil man da auch so ein bißchen Austausch fördert. Damit kennt man dann auch die Überlegungen der anderen, wie die an die Sache herangehen und das Problem lösen.“

Teamfähigkeit bedeutet auch, sich mit entstandenen Problemen nicht einzugehen, sondern sie zu äußern, um mit der Hilfe von Kollegen eine eventuell ent-

standene Sackgasse verlassen zu können bzw. nachfolgende Kollegen oder Prozesse miteinzubeziehen. „Ich setze bei einem Entwickler und Konstrukteur voraus, daß man auch die Probleme kundtut, also sich nicht die Probleme einverleibt und nicht verrät, daß man da ein Problem hat, sondern ich werde doch mit den anderen darüber reden.“ Ob ein Entwickler dies tut, ob er seine Probleme offenlegen kann, hängt jedoch ganz entscheidend von dem Umgangston innerhalb der Firma ab. „Das war vielleicht in früherer Zeit nicht unbedingt so, das kann ich mir vorstellen. Da hat jeder mehr seinen Bereich gehabt, da hatte jeder ein Teil von der Maschine, und da habe ich nicht dreinzureden. Da mache ich, was ich will, und wenn es irgendwo zwick, dann verrate ich das möglichst nicht. Im Prinzip ist man jetzt schon sehr viel offener. (...) Also hier bei uns kann man das auf jeden Fall sagen, da habe ich ein Problem, da komme ich nicht weiter. Das ist sogar erwünscht.“ In einem offenen Klima kann das Ansprechen von Problemen positiv gewürdigt (statt negativ sanktioniert) werden. Es stellt dann einen Hinweis auf verantwortliches Handeln dar. „Einen guten Konstrukteur zeichnet auch aus, daß er seine Grenzen kennt, daß er beizeiten oder zum rechten Zeitpunkt jemanden anspricht. Ich greife dann ganz gerne auf die älteren Kollegen zurück oder auch mal auf den Service. Die haben noch mehr Gefühl für die Sachen.“

Ein Großteil der hier beschriebenen Zusammenarbeit innerhalb der Entwicklungsabteilungen findet nicht in formellen Projektgruppen statt, sondern (aus guten Gründen) in informellen Kleingruppen. So wie ein Entwickler seine Probleme und Vorstellungen mit nach Hause nimmt, bringt er sie auch in Kaffeerunden und ähnlichen Zusammenkünften mit Kollegen ein. „Es passiert schon einmal, daß man sich zusammensetzt. Jeder sagt so oder so, und dann gibt eben ein Wort das andere. Der Kollege sagt, das könnte man so oder so machen. Dann sage ich: ‚Wenn man das schon macht, dann kann man gleich das andere auch noch mitmachen.‘ Und dann kommt der dritte (...) Es ist irgendwo ganz natürlich in den Konstruktionsprozeß eingebaut. (...) Es ist ganz normal.“ „Wenn man sich irgendwo trifft, zum Kaffee, in der Raucherecke oder wo auch immer, dann redet man natürlich auch über die Firma. Dann sagt der eine schon: ‚Ich weiß nicht, ich dreh mich da im Kreis, so geht es nicht, und ich habe das und das schon probiert.‘ Dann ist es ganz normal, daß dann irgend jemand aus einer anderen Richtung kommt und sagt: ‚Hast Du das und das schon mal probiert? Vielleicht könnte das gehen.‘“ Auch aus der Sicht eines Vorgesetzten sind solche Gespräche – auch wenn sie kein Entwicklungsthema zum „offiziellen“ Anlaß haben – äußerst produktiv. Sie geben den Anstoß für neue Ideen. „Im Gespräch in informellen und formellen Gruppen entsteht auch viel. Die informelle bildet sich selber. 80% der Neuideen basieren auf Gesprächen. Man nimmt selbst aufgrund von Wortfetzen etwas mit, man spinnt diese in Gedanken weiter. So wurden schon viele Dinge geboren.“

In anderen Firmen gibt es „institutionalisierte informelle Gruppen“. „Wenn das Bedürfnis da ist, und wir müssen da etwas (eine Idee) finden, dann setzen wir uns mit zwei oder drei anderen Kollegen und dem Chef zusammen. Man setzt sich zusammen und diskutiert. Da kommt dann eigentlich meistens etwas dabei raus. (...) Man tauscht Ideen aus, es geht hin und her: ‚Das geht aber nicht, das könnte man vielleicht für das und das verwenden (...) Man befruchtet sich gegenseitig ein bißchen.‘ Diese Treffen haben meist einen informellen Charakter. ‚Man diskutiert spontan mit seinen Leuten, mit denen man das üblicherweise macht, entweder mit dem direkten Kollegen, mit Mitarbeitern, mit anderen verantwortlichen Leuten. Man diskutiert da miteinander. Das kann überall sein, meistens ist es im Büro, es kann in der Montage, im Versuch sein, es kann auf der Fahrt zum Kunden sein. Das kann spontan überall sein. Aber man macht das nicht mit irgendwie fremden oder nicht so vertrauten Personen. Das ist selten, daß man andere miteinbezieht. Das ist auch schwierig, weil man doch so tief in der Materie drinsteckt. Bis man das den anderen erklärt hat, läßt man es lieber bleiben. Da nimmt man eher die Leute, die genau so mit dabei sind und fragt: ‚Was würdest Du da machen?‘ Das ist auch spontan und ungeplant. Eine offizielle Entwicklungssitzung oder so etwas gibt es bei uns im Haus gar nicht.“

Voraussetzung für eine solche Form des spontanen Austausches ist das gegenseitige Vertrautsein. Ein Vorgesetzter sieht das ganz deutlich: „Den Leuten gefällt es auch irgendwie, so miteinander zu reden. Ich bin eigentlich recht zufrieden, wenn irgend etwas entsteht. Es ist nicht so, daß man sagt, die sitzen den ganzen Tag zusammen und ratschen. Die Leute kommen sich dann näher, sie füttern sich gegenseitig mit ihren Ideen. So ist das eine tolle Sache. Das bewegt sich auf einem relativ hohen Niveau.“

Die hier beschriebenen informellen Gruppen sind sehr homogen zusammengesetzt; sie beruhen auf Vertrautheit und Vertrauen und darauf, daß die beteiligten Entwickler sicher sein können, daß unausgereifte Ideen nicht „heruntergeputzt“ werden. Die Homogenität verhindert allerdings, daß unkonventionelle Ideen „von außen“ hereingetragen werden. „Im Idealfall sollte eher eine Putzfrau mit am Tisch sitzen. Es ist ganz einfach so, daß Leute, die permanent mit diesen Sachen zu tun haben, schon irgendwo auf eingefahrenen Wegen sind. Es ist dann sehr schwer, diese zu verlassen. Wenn man jemanden von der Straße hereinholt, dann ist der einfach frisch und ohne Vorbehalte. Da ist dann die Wahrscheinlichkeit schon größer, daß man eine gute Idee bekommt. Zwar bekommt man von einer Putzfrau zu 95% Schrottideen, weil sie – auf deutsch gesagt – einfach keine Ahnung hat. Aber man hat eine große Chance, daß man eine gute Idee bekommt.“

Entscheidend für solche Zusammenkünfte ist, daß sie nicht unter dem Druck der Leistungserwartung stehen. Es gibt keinen Zwang, daß ein Ergebnis dabei herauskommen muß, es muß nichts protokolliert und dokumentiert werden. Nur

so erhalten Ideen die Chance, zu reifen und sich zu entwickeln. „Also das Ungezwungene, Zwischenmenschliche muß auf jeden Fall sein und gehört auch dazu. Das kann man auf offiziellem Wege gar nicht so erschlagen.“

In einem Betrieb haben es die Entwickler geschafft, die Qualität einer informellen Runde in eine organisierte informelle Runde hinüberzuretten. Sie nutzen diese Runde als Möglichkeit, sich vom Tagesgeschäft zu distanzieren und sich auf die Neuentwicklung zu konzentrieren. „Wir haben es jetzt eingeführt, daß wir uns jeden Morgen um 8.00 Uhr treffen. Das ziehen wir jetzt seit eineinhalb Wochen durch, das freut uns schon wieder ganz arg. In den ersten Minuten ist es oftmals ein bißchen ein Zwang: So, jetzt müssen wir auf Befehl kreativ sein. Das ist schon relativ schwierig, bis man einmal drin ist, das dauert auch eine Viertelstunde bis eine halbe Stunde. Dann ist man drin und dann ist es genau so, als wenn man spontan irgendwo zusammenkommt. Aber am Anfang ist es manchmal ein bißchen zäh. Irgendwie fehlen die Bereitschaft und die richtige Motivation oder die richtigen Worte, um intensiv über etwas Neues nachzudenken. Wenn man dann den Sprung geschafft hat und gedanklich drin ist, dann ist es genau so, wie bei einem spontanen Treffen. (...) Wir gehen jetzt Konzepte durch, sprechen über Prototypen und diskutieren Baugruppen. Und dann beginnen wir, darüber zu diskutieren. Man muß sich ein bißchen anstrengen, daß diese Runde stattfindet, daß man die Notwendigkeit einsieht: O.k., das ist jetzt wirklich jeden Vormittag um 8.00 Uhr für ein bis zwei Stunden notwendig. Meistens wird es dann aber länger, weil es hinten hinaus kreativer wird. Dann wird das Ganze produktiver. Wenn man dann wirklich drin ist, dann läßt man das andere auch mal liegen. Dann kann das Telefon läuten, so lange es will. Später muß man dem zwar irgendwo wieder hinterherhecheln, aber es hat sich gelohnt.“

4.3 „Man muß immer einen gangbaren Weg finden“ – Aushandlungsprozesse

Die hier beschriebenen stellen nur einen Teil der tatsächlichen Aushandlungsprozesse dar. Entwickler müssen auch mit Lieferanten verhandeln, mit dem Einkauf, den Controllern etc. „Taschenrechner oder CAD-Geräte bedienen oder früher Lineal und Zeichenstift, das kann jeder irgendwo lernen. Aber, um das umzusetzen, was man da auf das Papier gebracht hat, dazu braucht man eben auch Menschen. Das ist eine ganz andere Sache. Oder die anderen von seiner Konstruktion zu überzeugen, nicht nur den Kunden, sondern auch die Produktion, die das, was er da zeichnet, nachher herstellen müssen. Das gehört auch mit dazu, finde ich.“

So sind beispielsweise Fragen der Machbarkeit Verhandlungssache. Dabei müssen die Entwickler auf die Traditionen der eigenen Firma Rücksicht nehmen. „Überfordert es vielleicht die Philosophie der Firma? Also bei uns ist es

mittlerweile so, daß man in eine Maschine immer mehr hineinkonstruieren muß, damit müssen die Baugruppen zwangsläufig immer kleiner werden, damit es noch reinpaßt. Da kommen wir schon oft in die Mikrotechnik. Damit ist die Firma schon wieder überfordert, daß die das gar nicht fertigen können. Oder man sagt zuerst, das können wir nicht, und im Endeffekt kriegt man es doch irgendwie hin.“

„Es heißt zunächst oft: ‚Das geht nicht.‘ Und wenn ich da nicht penetrant nachhake (...) Wenn ich davon überzeugt bin, daß das geht, sage ich: ‚Warum probiert ihr das nicht so oder so?‘ Der Kollege aus der Fertigung kann es sich relativ leicht machen. Wenn ihm irgendwas nicht gefällt, eine Änderung, die vielleicht ein bißchen mehr Aufwand bedeutet, dann wird zunächst einmal abgeblockt: ‚Das geht nicht, das kriegen wir nie hin.‘ Dann muß man sagen können, daß man schon selbst Versuche veranlaßt hat, die eigentlich in Richtung Fertigungsversuche gehen und daß es bei diesen wenigen Teilen zumindest funktioniert hat. ‚Jetzt schauen wir doch, ob es vielleicht – wenn man es so oder so macht – auch bei größeren Mengen, bei einer Serie funktioniert.‘ Wenn man das nicht sagen kann, dann wird es einfach abgeblockt. Es ist ja auch nicht das Eigeninteresse der Produktion, diese Toleranzen einzuengen. Da muß man eben manchmal nachhaken. Derjenige, der das haben will, ist in solchen Sachen viel penetranter als einer, dem aufdiktiert wird, daß die Änderung so und so aussehen muß.“

Der große Vorteil eines solchen Vorgehens liegt in der erreichten Verbindlichkeit einer gemeinsamen Vereinbarung. „Man hat ja die Basis mit dabei, und dann ist das teilweise sogar effektiver (gegenüber einer Absprache allein mit der Arbeitsvorbereitung). Dann hat das wirklich Hand und Fuß, was man ausmacht. Wenn man über Toleranzen spricht, dann müssen natürlich alle sagen: ‚Ja, das können wir so halten oder nicht.‘“

Gemeinsame Vereinbarungen zu haben, bedeutet aber auch, Fehler gemeinsam zu verantworten. „Es ist natürlich auch so: Wenn man den Kontakt nicht so pflegt, dann tut man sich viel leichter, über die Leute zu schimpfen, wenn etwas schief geht. Wenn bei einem meiner Teile in der Fertigung mal etwas schiefeht, gut, dann stecke ich meistens irgendwo mit drin. Ich bin irgendwie verwickelt und trage natürlich auch einen gewissen Teil der Verantwortung, das ist schon klar. Es ist ganz automatisch, daß man da nicht auf den Gedanken kommt und anfängt zu schimpfen, wenn man selbst auch einen Anteil an der ganzen Problematik hat. Und dann frage ich mich manchmal schon, ob ich das dann auch teilweise falsch mache, ob da vielleicht mehr Distanz angebracht ist, und ich dann, wenn etwas passiert, mich auch zurücklehnen könnte, den schwarzen Peter zuschieben könnte und sagen: ‚Der Fehler liegt bei euch.‘“

Gleichzeitig ist die Entwicklung einer neuen Maschine ein Aushandlungsprozeß, bei dem nur selten alle Ansprüche aller Beteiligten erfüllt werden können.

„Da ist schon mal einer und sagt: ‚Das ist aber toll geworden.‘ Aber seine Vorteile, die er hat, muß vielleicht ein anderer bezahlen. (...) Ich glaube, es ist fast unmöglich, so zu konstruieren, daß alle zufrieden sind. Vielleicht gibt es das auch. Es gibt ja nichts, was es nicht gibt. Aber es ist nahezu unmöglich.“

Zwar wird der Widerstand gegen gefundene Lösungen geringer – oder verschwindet sogar ganz –, wenn ein Entwickler die getroffenen Entscheidungen erklärt. Aber trotzdem bleibt Kritik. „Konstruieren ist eine der komplexesten menschlichen Arbeitsweisen, die es überhaupt gibt. Man muß soviel berücksichtigen; es ist ein ständiger iterativer Prozeß, ständig macht man etwas, man muß es aber gleich wieder verwerfen, weil das und das hinzukommt. Man muß es wieder umformen, dann paßt das nicht und das nicht. Es ist ein ständiges Hin und Her, eine ständige Absprache auch mit anderen Leuten. ‚Seid Ihr damit zufrieden?‘ Ich meine, man wird es nie schaffen, daß alle zufrieden sind. Man muß immer so einen gangbaren Weg zwischendurch finden. Man muß die Leute, von denen man weiß, daß sie Nachteile einstecken müssen, davon überzeugen, daß der Vorteil aus einem anderen Bereich ihren Nachteil wieder aufwiegt. Dann ziehen sie gerne noch eine Schraube an, weil sie wissen, wenn ich das mache, hält das länger oder die Fertigung wird billiger oder was auch immer.“

Ein solches Vorgehen verlangt eine hohe soziale Kompetenz. Es bedeutet nicht nur, die eigenen Belange im Blickfeld zu haben, sondern auch die der anderen Beteiligten. Es bedeutet darüber hinaus, die eigenen Entscheidungen und die Gründe dafür transparent und nachvollziehbar zu machen, mit der damit verbundenen Gefahr, nicht nur Zustimmung, sondern auch Kritik zu ernten. „Man muß die Gedanken, die man sich beim Konstruieren macht, den Leuten nahebringen. Sie müssen das verstehen, warum das so geworden ist und nicht anders. Ich meine, man erntet schon Kritik; ein Konstrukteur steht eigentlich immer unter Kritik. Ich habe selten erlebt, daß gesagt worden ist, das habt Ihr toll gemacht. Das kommt meistens nicht vor.“

Dieses „In der Kritik stehen“ müssen die Entwickler auch psychisch ertragen können. „Man muß unabhängig sein von Lob. Auch wenn man einmal gelobt wird, dann darf man nicht euphorisch werden, sondern man muß auf dem Boden der Tatsachen bleiben. Man weiß ja, daß man morgen vielleicht von der anderen Seite her wieder einen auf den Deckel kriegt. Darum muß man eigentlich für sich selber Wertmaßstäbe haben und daraus für sich eine Selbstbestätigung ziehen: Im Rahmen meiner Möglichkeiten ist das ganz gut gelungen und so. (...) Sonst kann man untergehen. Es gibt auch Leute, die das psychisch nicht draufhaben, weil man ständig unter Beschuß steht. Das sieht man auch immer, wenn Leute aus der Montage oder aus der Fertigung in die Konstruktion wechseln. Die arbeiten jetzt vielleicht ein Vierteljahr mit, irgendwie Zeichnungen erstellen oder so. Die meisten gehen dann wieder. Sie halten es oft nicht aus und merken, was dahintersteckt. Das sind dann diejenigen, die später am friedlichsten sind.“

Die Entwickler müssen für sich selbst Maßstäbe setzen, sie müssen sich selbst die Erfolgserlebnisse schaffen. „Sie müssen sich selbst motivieren. Und das Größte ist eben ein Erfolgserlebnis. Das Erfolgserlebnis kann sich ganz im stillen abspielen, ganz unspektakulär. Da kriegt man keine Urkunde oder so. Ich hatte letztes Jahr eine größere Weiterentwicklung von Gleiswaagen. Ich war bei der ersten Montage auf der Baustelle mit dabei. Das Schönste war, da wegzufahren und in den Bahnhof hineinzugucken und zu sagen: ‚Da liegt das Ding – alles auf dem Papier entstanden‘. Das sind so die kleinen Erfolgserlebnisse, die dann ja meistens keiner mit einem teilen kann. (...) Wenn das wirklich funktioniert, was man sich nur im Kopf und auf dem Papier ausgedacht hat, das ist schön.“

Die Entwickler können auf eine solche Realisierung auch deshalb mit Stolz blicken, weil sie der Beleg dafür ist, nicht nur den geschilderten unterschiedlichen Anforderungen gerecht geworden zu sein, sondern auch zahlreiche – zum Teil unerwartete – technische Unwägbarkeiten überwunden zu haben.

5. „Technik ist nicht so berechenbar, wie man immer meint“ – Technische Unwägbarkeiten

In den bisherigen Abschnitten wurden Anforderungen an Entwicklungsingenieure geschildert, die diese zu Beginn ihrer Berufslaufbahn meist relativ unvorbereitet trafen und mit denen sie sich – in Ergänzung zu ihrem Studium – selbst auseinandersetzen mußten. Es gibt aber ein anderes Element des Praxischocks, das noch viel stärker den eigentlich technischen Kernbereich und damit die eigene Fachlichkeit der Entwicklungsingenieure berührt. In der Anforderung, sich mit technischen Unwägbarkeiten auseinanderzusetzen, klaffen das im Studium erweckte Bild von Technikgestaltung und deren Realität weit auseinander.

Ingenieure werden in ihrem eigenen Arbeitshandeln ständig mit technischen Unwägbarkeiten konfrontiert, die – auch ihren eigenen – Vorstellungen von der Kalkulierbarkeit von Technik widersprechen. „Am Anfang (nach dem Studium) hat man die Einstellung, daß man alles berechnen könnte. Auch Herr Y (Vorstand) ist mit dieser Einstellung gekommen. Er hat das am Anfang ganz deutlich kundgetan. Dessen Auffassung war: Auch wenn die Textiler sagen, daß man da gar nichts – gerade wenn es um Garnbildung geht usw. – berechnen kann, das gibt es nicht. Es muß möglich sein, sich irgendwelche Modelle zurechtzulegen, und die muß man dann theoretisch durchdenken können. Aber gut, der war jetzt drei Jahre bei uns und der hat für meine Begriffe seine Einstellung in der Sache doch sehr deutlich geändert. Wir haben am Anfang große Probleme mit ihm gehabt, weil er eben diese Einstellung gehabt hat. Aber dann hat er mehr und mehr Verständnis dafür aufgebracht, daß das Ganze wirklich nicht berechenbar ist.“ Diese Unwägbarkeiten entstehen zum einen aus Ungewißheiten, die sich

aus der Anwendungssituation der entwickelten Technik beziehen, und zum anderen aus unerwarteten maschinenbautechnischen und herstellungsbedingten Problemen. Im einzelnen sind vier Kategorien technischer Unwägbarkeiten zu unterscheiden:

- Das Verhalten des von den Maschinen zu bearbeitenden Materials wie Holz oder Textilfasern ist nicht berechenbar. Entstehende Schnittkräfte oder Strömungen sind nur eingeschränkt kalkulierbar.
- Die zu konstruierenden Maschinen werden bei den Kunden in einem betrieblichen Umfeld eingesetzt, das nicht mit einer Laborsituation zu vergleichen ist: So lassen beispielsweise Schmutz und Staub manche technische Lösung scheitern.
- Unwägbarkeiten und Unsicherheiten gibt es auch im Fertigungsprozeß: Mangelnde Prozeßsicherheit, Verfahrensänderungen, Lieferantenwechsel usw. lassen vermeintlich sichere Prozesse instabil werden bzw. sie gar nicht erst entstehen.
- Selbst die maschinenbautechnischen Grundlagen beinhalten Unwägbarkeiten: So ist beispielsweise die Geräuschentwicklung von Getrieben nicht vorhersehbar, Schwingungen sind nicht oder nur sehr schwer in den Griff zu bekommen.

Wie die Ingenieure in ihrem Alltag mit diesen unterschiedlichen Unwägbarkeiten konfrontiert werden und wie sie damit umgehen, soll im folgenden dargestellt werden.

5.1 „Die Fasern halten sich nicht an Vorschriften“ – Nicht kalkulierbare Materialien

Die in dieser Darstellung zitierten Maschinenbauingenieure entwickeln Maschinen, die andere Materialien wie Holz oder Fasern aus Baumwolle und Kunststoff bearbeiten. Das Verhalten dieser Materialien ist nur begrenzt vorhersehbar. „Dieser Werkstoff Holz, das ist das Problem. Wir wissen die Schnittkräfte nicht. (...) Es gibt nur Näherungsformeln, die stimmen bis auf 20% bis 30% genau, aber das ist eine riesige Spanne. Wenn ich aber nicht weiß, wie groß die Kraft ist, kann ich die Spindel nur mit einer fiktiven Kraft, die ich angenommen habe, nachrechnen.“

Beim Rotorspinnen fehlen teilweise selbst solche Näherungswerte. Das Rotorspinnen ist ein Verfahren, für das es nur wenige Modelle mit jeweils beschränkter Reichweite gibt. „Technik ist nicht so berechenbar, wie man immer meint. Und Spinntechnologie schon gleich zweimal nicht. Das ist eben eine Sache, wo man irgendwann zu der Einsicht gelangt, theoretisch kann ich so gut wie nichts voraussagen, das muß alles getestet werden.“ Insbesondere kann man

nicht das Verhalten der Fasern im Rotor voraussagen: „Beim Rotorspinnen geht es um Strömungen, und da kann man nichts berechnen. Jeder Strömungstechniker wird zugeben, daß er da mit seinen Modellen, die man nur irgendwie theoretisch betrachten kann, sehr schnell am Ende ist. Man kann zwar gewisse Sachen dann grob voraussagen, aber (...) das ist alles mit einem großen Fragezeichen behaftet.“ Da es keine theoretischen Modelle gibt, existiert auch keine Simulationssoftware. „Was für uns immer interessant ist, sind Ströme in der Luft, wie sich die Fasern da verhalten. Da gibt es zwar tolle Programme, aber nicht mit Fasern, weil es da anscheinend zu viele Unbekannte gibt. (...) Wir haben bei professionellen Softwareanbietern angefragt, es gibt ja mittlerweile eine tolle Simulationssoftware. Es gibt auch relativ viel dazu, wie sich Gaspartikel da drin verhalten. Aber wie sich Fasern in einer strömenden Luft verhalten, das kann man wahrscheinlich nicht simulieren.“

Auch das Verhalten der Fasern im Rotor oder in der Abzugsdüse läßt sich nicht voraussagen. „Die Fasern halten sich nicht an Vorschriften.“ Zwar kann man für den Transport des Garns Geschwindigkeiten berechnen, aber es kommen viele Unwägbarkeiten hinzu. „Es kann zwar vieles schon mit Berechnungen gemacht werden, aber da ist auch Erfahrung und Erprobung notwendig, damit man da zurechtkommt. (...) Wenn Sie Fasern transportieren, können Sie zwar Geschwindigkeiten und Luftmengen berechnen, da geht schon was. Aber es kommen da so viele Faktoren mit rein, strömungstechnischer Art oder z.B. Oberflächenrauigkeiten. Wenn das eine kleine, rauhe Kante ist, sofort gibt es Stau und Verstopfung. Das ist einfach die Hauptproblematik, daß da Fasern gehandelt werden müssen und das ohne Wickel (und ohne Abriß). (...) Bei uns ist natürlich immer die Geschichte mit dem Faserstrom: Reißt er oder reißt er nicht?“

Ingenieure werden mit einem Maschinenverhalten konfrontiert, das für sie unerklärlich ist und für das sie keine Erklärung und dementsprechend keine Modelle haben. Die Erkenntnis, daß es für bestimmte auftretende Phänomene auch nicht den geringsten Ansatz für ein Erklärungsmuster gibt, verunsichert die Entwickler. „Das sind unerklärliche Sachen: Wenn Sie solche Rotoren, die auf der einen Spinnstelle überhaupt nicht laufen, in die andere stecken, dann laufen sie wunderbar, obwohl es die gleiche Maschine ist. (...) Manchmal müssen auch die Technologen die Waffen strecken. Wenn bei einer Maschine mit 280 Spinnstellen, wo ja überall eigentlich das gleiche drin ist, manche Spinnstellen einfach nicht oder nicht gut laufen. Um herauszufinden, was das verursacht, tauscht man die Rotoren und andere Elemente von der schlechten zu einer guten Spinnstelle aus, bis der Fehler herüberspringt. Dann weiß man, was schuld war. Aber irgendwann haben Sie nichts mehr zum Tauschen, dann sind Sie mit dem Latein am Ende. Wir haben alle Teile getauscht. (...) Prinzipiell ist das absolut unbefriedigend. Normalerweise gibt es für technische Baugruppen nur zwei Betriebszustände: Entweder es funktioniert oder es funktioniert nicht, wobei das Funktio-

nieren mehr oder weniger gut sein kann. Aber wenn das nicht funktioniert, dann hat das einen Grund, und der Grund ist normalerweise nachvollziehbar. Wenn eine Schraube herausgefallen ist oder der Motor durchgebrannt ist, kann man das relativ schnell nachvollziehen. Aber da sind Sie irgendwo am Ende. Auch die Technologen stehen oft davor und können nur mit den Achseln zucken.“

Die Unmöglichkeit, das Verhalten der Fasern vorauszusagen, führt dazu, daß jede kleinste Änderung nur mit äußerster Vorsicht vorgenommen werden kann. „Beim Spinnement ist das ganz extrem. Jedes Spinnement, jede Oberfläche, die ich da verändere, die muß ich testen. Das kann ich nicht rechnen, und so ist es auch mit vielen mechanischen Sachen, also wenn ich jetzt an die Fadenverlegung denke.“

5.2 „Die Einsatzbedingungen sind anders, als man es aus dem Katalog herauslesen kann“ – Nicht kalkulierbare betriebliche Bedingungen

Die betrieblichen Bedingungen, unter denen die zu entwickelnden Maschinen eingesetzt werden, entsprechen nicht denen einer Laborsituation. „Es gibt auch einen Kunden, da steht die Maschine so hoch im Dreck drin, alles Hobelspäne. Bei dem muß die Maschine auch funktionieren.“ Bei der Bearbeitung von Holz entstehen Späne, Staub und Harzspritzer. „Holzstaub, es ist überall Holzstaub. Also so dicht bekommt man fast gar nichts, daß er nicht reingeht. (Er zeigt auf ein Teil:) Das ist wirklich stark gereinigt, aber das ist wirklich in jeder Ritze der Holzstaub drin. Zwar sind bei der Führung da vorne auch spitze Abstreifer, aber er kommt doch da rein. Also, ich habe da schon Sachen gesehen, das war innen randvoll mit Holzstaub. Es hat zwar noch funktioniert, aber es war voll.“

Solche und ähnliche Erfahrungen machen Entwickler in fast allen Anwendungsbereichen, falls sie sich darauf einlassen. In einem Stahlwerk war eine Waage mit einem Wiegebereich von 150 Tonnen einmal um 8 Tonnen „weggelaufen“, d.h., sie zeigte auch ohne Belastung immer 8 Tonnen an. Die Herstellerfirma wurde alarmiert. „Dann sind wir dahingefahren. Entwickler und Servicemann sind dahingefahren und gucken sich das an: Die ganze Waage von oben bis unten voll mit Schlacke. Dann sage ich: Die 8 t sind da drauf, das ist nur der Dreck hier. So dick Schlacke, das waren die 8 t. Dann haben die das mit dem Preßlufthammer runtergemeißelt, und dann hat es wieder gestimmt. Und was habe ich daraus gelernt? Wenn jemand vor Ort ist und ein Nullstellproblem hat, dann sage ich als erstes, daß er den Nullstellbereich hochstellen soll: ‚Ihr wißt ja, bei dem Dreck sind schnell ein paar Tonnen Schlacke drauf.‘ Das kann man nur durch so ein Erlebnis wirklich erfahren. Natürlich kann man das jetzt aufschreiben, man kann es anderen sagen, man könnte diese Erfahrungsliste aufschreiben und könnte sagen: Stahlwerk, was hat man da so erlebt, das könnte man machen. So etwas wird aber komischerweise in der Praxis fast nie gemacht.“

Gerade Sensoren kann man nicht allein anhand der technischen Daten auswählen. „Die Umgebungsbedingungen oder die Einsatzbedingungen sind immer anders. Man kann bestimmte Sachen aus dem Katalog herauslesen und dann sagen: Ja, von den technischen Daten her sollte es funktionieren, müßte es funktionieren. Aber da muß man dann einfach sagen: Das müssen wir testen. (...) Man muß dann immer an den Staub denken und an die Bedingungen in der Maschine. Bei Lichtschranken braucht man z.B. Reflexionsflächen. Auf der anderen Seite stören solche Reflexionsflächen auch wieder, die will man an bestimmten Stellen gar nicht haben. Das sind so Sachen, wo man einfach sagen muß, da muß man gucken, ob das funktioniert. Reicht diese Fläche als Reflexionsfläche aus, damit ich das messen kann, was ich messen will, ohne die andere zu stören? Man sagt, das müßte theoretisch gehen, aber da ist Theorie und Praxis doch ein Unterschied. (...) Die Verschmutzungsthematik hat man nicht ganz im Griff, da muß man probieren. Man kann Luft absaugen oder mit Luft blasen, um gewisse empfindliche Stellen von Spänen sauberzuhalten oder von Spänen zu reinigen. Aber da kann man hin- und herrechnen, das muß man in der Praxis testen und probieren.“ Herumfliegende Späne können die Sensoren aktivieren, so daß es zu Fehlreaktionen kommt. „Wir haben da auch Lichttaster drin, die eben dieses Holz abfragen. Da muß man auch darauf achten, daß dann, wenn zufällig ein Span vorbeifliegt, nicht dieser Span schaltet.“

Auch die Randbedingungen, die für die Auslegung von Absauganlagen zugrundegelegt werden müssen, sind nicht immer eindeutig. „Die Späne müssen ja abgesaugt werden. Man versucht, die Absaugung so zu optimieren, daß möglichst viele Späne den Weg in die Haube finden. Alle bekommt man sowieso nicht herein. Es sind zwar auch schon Untersuchungen gelaufen an der Uni Stuttgart, wie man solch eine Haube optimal konstruiert. Die Haube war dann so groß, daß sie erst zwei Meter nach hinten ging, bevor sie dann nach oben saugte. Das ist eine Sache, die praktisch nicht durchführbar ist. Dann haben wir so ein Wirbelsystem ausprobiert. Wir haben es so gemacht, daß sich ein Wirbel drin bildet und daß das durch den Wirbel hochgeht. Reine Theorie. Aber jetzt: Wie macht man es genau? Wo ist welches Blech? Es ist ja so: Bei einem Werkzeug drehen die Späne am Werkzeug und beim anderen erst nach 90 Grad oder nach 180 Grad. Das kommt ganz auf die Werkzeugform an. Das sind alles so Sachen, die man erst draußen sieht; oder der Kunde setzt auf einmal ein Werkzeug ein, bei dem sich die Späne ganz anders lösen, so daß eine Umdrehung dabei herauskommt.“

Hier gibt es keine gesicherten Erkenntnisse. In anderen Bereichen realisierte Lösungen können nur Anhaltspunkte für die im eigenen Anwendungsfall anzustrebenden Lösungen sein. Voraussetzung für eine erfolgreiche Entwicklung von Maschinen ist die gute Kenntnis der Anwendungssituation. „Viele Probleme, die Kunden reklamieren, hängen mit dem Werkstoff (Holz) zusammen. Feuchtigkeit

ist z.B. ein Kriterium: Je nach Feuchtigkeit gibt es eine rauhere oder weniger raue Oberfläche. Dann muß man eben andere Einrichtungen nehmen, andere Werkzeuge, Schneiden, Werkstoffe, Winkel. Oder aber, das Holz ist vom Wuchs her kritisch, so daß es sich beispielsweise in Verbindung mit Feuchtigkeit einfach nicht gerade bearbeiten läßt. Das bearbeite ich gerade, und das kommt hinten raus und verzieht sich wieder.“ Wie sich dieser Werkstoff verhält, muß man bei der Entwicklung mitberücksichtigen. „Man denkt nicht bewußt daran, sondern das schöpft man eben aus den Erfahrungen, die man im Hinterkopf hat. Man weiß, daß man Holz bearbeitet und dementsprechend braucht man eben zur Führung und zur Bearbeitung bestimmte Einrichtungen, und die konstruiert man mit rein. Aber das macht man jetzt nicht aus dem Bewußtsein heraus, daß man jetzt Holz hat, sondern es gehört zu den Rahmenbedingungen dazu, daß ich eben das Holz derart führen muß, weil es ein organischer Werkstoff ist, der sich verzieht. Das muß ich eben mitberücksichtigen.“

Ein solches Anwendungswissen und das Gespür für das Material erwerben Maschinenbauingenieure erst nach langjähriger Tätigkeit auf diesem Gebiet. Gleichzeitig ist es aber von hoher Bedeutung für die eigene Entwurfstätigkeit. „Für einen Konstrukteur spielt ja einfach diese ganze Anwendungstechnik eine sehr große Rolle. Und da ist es (das Wissen) eher zu wenig, würde ich mal sagen, da müßte man als Konstrukteur noch mehr wissen. Das gilt auch für mich, obwohl ich schon zehn Jahre da bin. Aber es gibt soviel Spezialwissen und Know-how, um Holz zu bearbeiten, was ich auch nicht habe. Da sollte man als Konstrukteur wirklich von der Anwendungsseite her noch viel mehr wissen.“ Allerdings gibt es nicht einen Ort im Betrieb, an dem man sich dieses Wissen „abholen“ könnte. „Dieses Wissen ist vielleicht gar nicht konzentriert, sondern das liegt an verschiedenen Stellen vor. Das liegt z.T. im Verkauf vor, es liegt zu sehr großem Teil am Kundendienst vor, es liegt sicher auch in unseren Vorführräumen, Trainingscentern usw. vor, wohl auch im Vertrieb, in der technischen Beratung. Also, vor allem bei den Leuten, die eben mehr in der Anwendung drin sind.“

5.3 *„Wer von sich aus an einem Technologieteil etwas ändert, der gehört mit der siebenschwänzigen Katze gezüchtigt“ – Nicht kalkulierbare Herstellungsverfahren*

Unwägbarkeiten entstehen nicht nur aus dem Anwendungskontext der zu entwickelnden Maschine, sondern auch aus den Herstellungsbedingungen. Aus allen untersuchten Bereichen gibt es Berichte von Entwicklern darüber, wie ein vermeintlich stabiler Fertigungsprozeß durch Änderungen von Materialien oder Verfahrensänderungen zum Umkippen gebracht wurde. Die Ursachen dafür waren im vorhinein jeweils nicht bekannt. Wenn die Teile in der eigenen Firma geändert werden, hat man zumindest die Möglichkeit, Verfahrensänderungen

selbst zu begleiten. „Bevor ich mein Verfahren (zur Getriebefertigung) ändere, mache ich erst Versuche, weil ich ganz genau weiß, das hat Auswirkungen auf die Geräusche. Das kann aber keiner vorher sagen. Ein anderer Maschinenhersteller hat unter Umständen ganz andere Fertigungsverfahren. Da habe ich eine ganz andere Kinematik bei der Herstellung dieser Oberfläche oder dieser Verzahnung. Und das wirkt sich geräuschmäßig aus. Aber das kann keiner richtig vorhersagen. Die (Hersteller-)Firmen trauen sich das zwar immer zu (...) Diejenigen, die die Maschinen verkaufen, die sagen Ihnen alles mögliche zu, und nachher haben Sie da eine Maschine stehen, über die Sie kein Teil drüberlaufen lassen können. Das ist schon ein immenses Risiko, was man da eingeht. Deshalb würde ich an dieser Stelle nur auf Versuche zurückgreifen. (...) Das kann man aber auch nicht lernen. Das sind Erfahrungen, die wir gesammelt haben, und die gibt es auch bei anderen Getriebeherstellern.“

Bei der Verwendung von Kaufteilen erhöht sich das Risiko, weil der Lieferant seine Fertigungsverfahren ändern kann, ohne daß es der Abnehmer zunächst merkt. So kann eine Verfahrensänderung, die der Lieferant zunächst als unkritisch betrachtet, zu fatalen Auswirkungen führen. „Wir hatten vor kurzem einen Fall mit einem Bauteil. Da ist eine Vorserie von 20.000 Stück gelaufen, und die haben alle funktioniert. Dann sind die nächsten Lieferlose gekommen. Die haben auch unsere Forderungen bezüglich des RZ-Wertes (Angabe für die Rauigkeit) erfüllt. Der Lieferant hatte zunächst bei einem Unterlieferanten extern polieren lassen. Dann hat er sich eine eigene Poliererei aufgebaut und war der Meinung, er macht das richtig. Die Teile haben ja auch genauso ausgesehen. Aber auf jeden Fall hat es da eine Umstellung im Prozeß gegeben, die der Lieferant eigentlich als unkritisch angesehen hat. Das hat sich dann eben ziemlich fatal ausgewirkt. Als die ersten Beanstandungen gekommen sind, haben wir uns eine Zeitlang auf den Glanzgrad versteift, weil die Teile nicht so gegläntzt haben wie die der ersten Lieferung. Die Düsen haben dann wieder gegläntzt, hatten den RZ-Wert und haben trotzdem nicht funktioniert. Und dann hat man eben gesehen, daß Glänzen nicht gleich Glänzen ist. In intensiven Diskussionen mit dem Lieferanten sind wir jetzt darauf gekommen, daß in diesem Fall die Entscheidung zwischen gut und schlecht eigentlich nur mit einer Mikroskopaufnahme gemacht werden kann. Im Rasterelektronenmikroskop sieht man eben sehr deutlich Oberflächenunterschiede, die dann auch dieses unterschiedliche Laufverhalten bewirken. Das war wieder so eine Erfahrungssache. Wenn wir das schon vorher gewußt hätten, dann hätten wir uns die Bauteile von vornherein mit so einem Mikroskop angeschaut, und dann wäre das nicht passiert. Aber da hat erst unser Lieferant etwas lernen müssen, und wir haben auch wieder etwas dazugelernt, was die Qualitätskontrolle anbelangt. Bei diesen maschinenrelevanten Bauteilen braucht man wirklich Erfahrung bezüglich der Qualitätskontrolle. Der Herr W. hat das einmal in einer Technologiebesprechung formuliert: ‚Wer von sich aus an

einem Technologieteil etwas ändert, der gehört mit der siebenschwänzigen Katze gezüchtet. ‘Da ist etwas dran.’ Allerdings wäre dieser Fehler auch in einer Technologiebesprechung nicht aufgedeckt worden, da der im vorhinein als objektives Maß definierte RZ-Wert auch nach der Verfahrensänderung erfüllt war.

Solche Fehler tauchen immer wieder auf, weil niemand genau weiß, welche Anforderung die Teile genau erfüllen müssen. Aus diesem Grund können die Anforderungen auch nicht genau in der Zeichnung definiert werden. „Man kann eben nicht alles hundertprozentig in die Zeichnung reinschreiben und dann funktioniert es. Da sind dann immer irgendwelche Prozesse, die, wenn sie nicht ganz exakt eingehalten werden, schon wieder dazu führen, daß irgend etwas schief laufen kann. Das passiert jetzt aber nicht nur bei Oberflächen, sondern das passiert bei der Technik genauso. Technik ist nicht so berechenbar, wie man immer meint; und Spinnentechnologie schon zweimal nicht. Das ist eben eine Sache, wo man irgendwann zu der Einsicht gelangt, theoretisch kann ich so gut wie nichts voraussagen. Das muß wirklich alles getestet werden.“ „Ja, der eine macht dies, und der nächste das. Das muß zusammenpassen, das ist ganz klar. Das habe ich (nach der Hochschulausbildung) nicht gewußt.“

Ein eher extremes Beispiel ist die Fertigung von Sensoren, bei der schon im Planungsstadium berücksichtigt werden muß, daß es keine Prozeßsicherheit gibt. Es ist unmöglich, eine angestrebte Qualität fortdauernd zu erreichen, Qualitätsschwankungen sind der „Normalfall“. „Sensorbau hat was von Hexenküche. So der Spruch: Genauigkeit ist Glückssache. Ist auch irgendwo so.“ Beim Sensorbau ist es unmöglich, eine einmal erreichte Qualität ständig und fortlaufend zu produzieren. Statt dessen muß man die Sensoren erst einmal fertigen, um sie dann später in bestimmte Qualitäts- und Güteklassen einordnen zu können. „So wird das auch produziert, ganz bewußt. Man hat nur dann ein Problem, wenn die hohe Genauigkeit nicht in genügend Stückzahlen herauskommt. Dann hat man ein Problem.“ Ob man die erwünschte Qualität erreicht oder nicht, hängt von vielen Faktoren ab, wie z.B. vom Meßkörperwerkstoff, vom Draht, von dem Kleber, von den Folien, vom Alterungsprozeß. Wenn die gewünschte Qualität nicht erreicht wird, beginnt ein Suchprozeß, um die maßgeblichen Faktoren herauszufinden. „Das kann dann schon Sisyphusarbeit sein, ich habe das schon erlebt, wie die Leute mit hochrotem Kopf da herumgesehen haben.“

Diese Unwägbarkeiten muß man auch bei einer Neuentwicklung berücksichtigen. „Stellen Sie sich vor, Sie machen ganz blauäugig eine Entwicklung und sagen, ich baue jetzt einen Prototyp. Dieser Prototyp ist jetzt rein zufällig der beste von 100, falls Sie noch 99 weitere bauen. Wenn Sie jetzt unvorsichtig sind, sagen Sie, ich habe einen Aufnehmer mit diesen Eigenschaften entwickelt. Die Geschäftsleitung sagt, wunderbar, Kosten sind o.k., den machen wir. Dann bauen Sie den in Serie und legen die ersten zehn auf. Nichts geht. Die nächsten zehn werden wieder nichts. Das meine ich mit dem Spruch: Genauigkeit ist Glücks-

sache. Man muß bedächtig sein. Von einem Prototypen auf die weitere Serie zu schließen, ist schon sehr schwierig. Man weiß nicht genau, welche Variablen die Genauigkeit beeinflussen. Man weiß nicht, warum der eine dann ausgerechnet um den Faktor 10 besser ist als der nächste. Das ist so, als wenn Sie ein Auto kaufen: Das macht vielleicht erst nach 500.000 km oder schon nach 100.000 km schlapp. Das hängt von so vielen Faktoren ab, das kann man nicht unbedingt vorhersehen. Sie können nicht sagen, ich bau den jetzt auf ein Zehntel Promille genau. Da hilft einem eigentlich nur der Erfahrungswert, um zu sehen, worauf es ankommt.“

5.4 „Wir wissen es nicht, das kann sein, das kann nicht sein“ – *Die Grenzen der Theorie*

Die Probleme der Unwägbarkeit und der Nichtvorhersehbarkeit stellen sich selbst in den Bereichen, in denen es nicht um spezielle Anwendungssituationen oder Fertigungsbedingungen geht, sondern „nur“ um maschinenbautechnische Probleme. Diese gelten gemeinhin als beherrschbar und berechenbar. Auch und gerade Getriebe gelten als „Musterbeispiele“ für Berechenbarkeit und werden als solche auch immer wieder von Entwicklern zitiert. „Ein Getriebe kann man relativ zielsicher so ausrechnen, daß es nachher auch läuft.“ Oder: „Ein Getriebe, das kann man errechnen, da weiß man die Leistung, die da durchgeht, das ist jederzeit machbar.“ Allerdings kommen diese Einschätzungen von Entwicklern, die selbst keine Getriebe entwickeln. Diejenigen, die an der Entwicklung von Getrieben beteiligt sind, haben einen anderen Blick; sie wissen auch um die Momente der Nichtberechenbarkeit. Sie kennen die Phänomene, die theoretisch nicht durchdrungen sind und somit jederzeit wieder für Überraschungen sorgen können. So beurteilen Kunden ein in einem Kraftfahrzeug verbautes Getriebe nicht nur anhand dessen technischer Funktionalität, sondern beispielsweise auch anhand der vom Getriebe verursachten Geräusche. „Die Geräuschproblematik wird immer größer. Wir hatten da riesige Probleme und haben das nie in den Griff bekommen.“ Damit verändert sich der Blick auf das Getriebe: Nicht mehr die berechenbare – und auf der Ebene von Zeichnungen überprüfbare – Mechanik steht im Mittelpunkt. Dort geht es „nur darum, die Zahngeometrie da so in einen Radkörper hineinzuschnitzen.“ Statt dessen geraten die unkalkulierbaren Folgen ins Blickfeld: „Die Auswirkung letztendlich, daß da Geräusche drin sind, das kann ich nicht unbedingt vorhersehen.“ Zwar kann man anhand der Auslegung der Verzahnung und aufgrund von Berechnungen Voraussagen darüber machen, ob es sich um eine unkritische oder um eine kritische Verzahnung handelt. Dabei steht die Geräuschentwicklung bei kritischen Verzahnungen in einem engen Zusammenhang mit den verwendeten Fertigungsverfahren. Zwar gibt es wissenschaftliche Untersuchungen dazu und auch eine Theorie, nach der An-

triebsrad und Abtriebsrad in zwei verschiedenen Verfahren gefertigt werden sollten, damit die Linienstrukturen nach dem Schleifen gegeneinander und nicht (waschbrettartig) übereinander ablaufen. Aber: Das ist die Theorie, die dahinter steckt. Letztendlich muß man das in der Praxis ausprobieren.“

Auch die beim Bau von Rotorspinnmaschinen verwendeten Getriebe muß man in Versuchen austesten, weil man bestimmte komplexe Vorgänge, die z.B. durch Schwingungen ausgelöst werden, nicht berechnen kann. Bei Rotorspinnmaschinen wird eine bis zu 40 m lange Stange von einem Getriebe angetrieben. Auf der Stange ist pro Spinnstelle eine Gabel befestigt, die den produzierten Faden hin- und herbewegt, um ihn gleichmäßig auf die Spulen aufzuwickeln. „Die Stange ist ca. 40 m lang, die hat eine gewisse Masse, und die wird zuerst in die eine Richtung geschossen und dann gebremst. Sie wird also beschleunigt und ruckartig gebremst. Die ganze Kraft landet im Getriebe. Das sind so Dinge, da rechnet man sich halb zu Tode, um so etwas rauszukriegen. Da ist es besser, einen Versuch zu machen, irgendwo einen Kraftaufnehmer reinzuhängen, das Ganze einmal aufzuzeichnen. Das sind komplexe Vorgänge, Schwingungen usw. Das ist nicht mehr richtig greifbar. Ohne die Schwingungen könnte man das von der Theorie her rechnen. (...) Das sind so schwierige Dinge. Alles, was man nicht gescheit rechnen kann und was mit Dynamik zusammenhängt, muß man ausprobieren.“

Schwingungen sind ein Problem, das auch an anderer Stelle auftaucht. „Bei 130.000 oder 140.000 Umdrehungen hört eigentlich jede Vorstellungskraft auf. Und da hören auch teilweise die Berechnungsmodelle auf, wenn es beispielsweise um Schwingungen geht. Wir hatten Verschleißprobleme: Da wirken Schwingungen, die erstens durch den Lauf verursacht werden und zweitens durch die Art des Antriebs. Das ist ja relativ stabil gelagert, und da entstehen eben Schwingungen. Wie wirken sich diese auf den Verschleiß aus? Das kann man theoretisch einfach nicht betrachten.“ Schwingungen können – neben anderen Ursachen – außerdem Brüche verursachen. „Wir haben jetzt auch Fälle erlebt, wo uns eine Welle abgebrochen ist. Das kann man theoretisch auch nicht betrachten. Durch die Schwingungen waren das Dauerbrüche. Ich habe mit Fachleuten gesprochen, bin zu Universitäten gefahren und habe mit wirklichen Kapazitäten gesprochen und die sagen, daß man das theoretisch nicht berechnen kann. Das kann man nicht nachvollziehen, daß das passiert. Das passiert ja nicht bei jeder Welle, sondern nur bei einzelnen. Das sind alles so Sachen (...) Es ist auch vorgekommen, daß im Rohmaterial Risse drin sind usw. Es sind so viele Sachen, die man theoretisch nicht im Griff hat.“

Schwingungen und Dynamik sind auch die Stichworte, um die Grenzen der Berechenbarkeit von Maschinen zur Holzbearbeitung aufzuzeichnen. Schwingungen bedingen, daß sich das Holz nach der Bearbeitung „fettig“ anfühlt, es glänzt nicht so, wie es die Tischler gern haben möchten. Es gelingt zwar mit

wissenschaftlichen Methoden, die Schwingungen nachzuweisen und darzustellen, doch es gibt keine eindeutigen Eingriffsmöglichkeiten. „Ich wollte wissen, woran es liegt, daß das ganze System schwingt. Wir haben zwei Universitäten (...) eingeschaltet. Jeder hat gesagt, daß es schwingt. Da haben wir schöne Filme gesehen, wie das alles schwingt. Aber was soll man dagegen machen, daß es nicht mehr so ist? Dann kam die Antwort: ‚Da könnte man es vielleicht stärker machen oder man könnte das schwächer machen.‘ Die Schwingung ist so eine Sache, das kann man nur probieren. (...) So ein Schwingungsfeld ist derart komplex, weil jedes Teil in sich schwingt. Wir haben da Gußteile drin, und der Guß fällt einmal so aus und einmal so. Dann ist die Materialgüte verschieden, das nächste Mal ist die Wandstärke vielleicht 1 mm dicker. Vielleicht ist das allein schon ausschlaggebend, daß die Maschine so schwingt. Wir wissen es nicht, das kann sein, das kann nicht sein.“ Ob das Schwingungsproblem prinzipiell „berechnet“ werden kann und somit eine Formel zur Verfügung gestellt werden kann, nach der Schwingungen ohne Versuche und ohne „Ausprobieren“ vorhergesagt (und ausgeschaltet) werden können, bleibt offen. Zwar hält der Ingenieur, der ohne „greifbares“ Ergebnis schon zwei Universitäten mit der Lösung des Problems beauftragte, die auftretenden Schwingungen grundsätzlich für berechenbar. Aber gleichzeitig sieht er die dabei zu überwindenden Probleme auf gleicher Ebene – und damit ebenso fragwürdig – wie die Weltformel. Er schildert das Schwingungsproblem als so komplex, daß aus dessen Resultat eventuell sogar die Weltformel – wenn sie denn existieren sollte – geändert werden müßte. „Es ist sicher berechenbar, aber wahrscheinlich müßte sich da jetzt einer 20 Jahre dran setzen und dazu noch die Weltformel ändern.“

Da die grundsätzliche Frage der Berechenbarkeit des Schwingungsproblems – zumindest für die nächsten Jahre – weder zu entscheiden noch gegebenenfalls zu realisieren ist, bleiben nur Versuche nach dem Prinzip „trial and error“. Diese werden mit einander zum Teil widersprechenden Ansätzen durchgeführt. Sie bringen Ergebnisse, die immer nur für eine bestimmte Zeit stabil sind. „Plötzlich und unerwartet“ können die Ergebnisse wieder umkippen, sie sind nicht unbedingt über einen längeren Zeitraum hinweg stabil. „Wir haben schon extreme Versuche gemacht. Wir haben Teile total steif gemacht, dann haben wir versucht, alles zu dämpfen, alles zu lagern. Das hat einen gewissen Erfolg gebracht, aber auch nicht das Gelbe vom Ei. Vor allem kann man auch nicht sagen, jetzt haben wir es bei dem einen hingebacht, jetzt machen wir es zehnmals. Beim zehnten ist es schon wieder total neben der Kappe. (...) Also, man kann nicht mit Sicherheit sagen, so machen wir es.“ Dieses Problem der Instabilität, der Unmöglichkeit der Übertragung von Ergebnissen taucht auch in anderen Prozessen und bei anderen Produkten wieder auf. „Da haben die anderen Abteilungen auch die Probleme (...)“

5.5 „Eine Kombination von Wissen und Erfahrung“ – Lösungswege

Da das Verhalten von technischen Komponenten nicht berechenbar und damit nur begrenzt voraussehbar ist, tauchen selbst bei der Anwendung eines schon bekannten Verfahrens immer wieder neue Probleme auf, die einer konstruktiven Lösung bedürfen. (Oder wie im nachfolgend geschilderten Fall: Die zwar nur einer schon bekannten Lösung bedürfen, welche aber bislang für den beschriebenen Anwendungsfall vor dem Hintergrund der bekannten Theorien immer ausgeschlossen wurde.) Die Maschinenbauingenieure und Technologen stehen immer wieder vor unerklärlichen Phänomenen. „Das ist mit Sicherheit keine exakte Wissenschaft. Es passieren oft Sachen, wo selbst die Technologen sagen, das ist unerklärlich. Manchmal ist der Prozeß so auf der Kippe vom Stablen zum Instablen.“

Damit kann jeder Eingriff zu einem unerwarteten Ergebnis führen. „Bei vielen technologischen Elementen ist das ganz extrem. Ich muß jedes Bauteil, jede Oberfläche, die ich da ändere, testen. Das kann ich nicht rechnen.“ Damit werden auch Prognosen zum Systemverhalten unsicher. „Man würde sich manchmal schon auch wünschen, daß man treffsicherer ist bei Prognosen. Gerade wenn es um Technologieteile geht, daß man dann irgendwelche Änderungen treffsicher voraussagt. Da ist die Trefferquote – das muß man schon sagen – relativ gering.“

Dabei gibt es mehrere hundert verschiedene Komponenten, die sich in Formen, Größen, Materialien und Oberflächen unterscheiden. Welche Materialien wo eingesetzt werden, wird in Abhängigkeit von den zu verarbeitenden Materialien und deren Qualität sowie den zu erzeugenden Produkten entschieden. Es gibt keine festen Regeln, welche Komponenten wann eingesetzt werden. Bei auftauchenden Problemen mit der Produktqualität wird – vom Kunden und vom Service – nach einer neuen konstruktiven Lösung gerufen.

Ein typisches Beispiel ist der Moiréeffekt: Im Abstand des Wellenumfangs tritt regelmäßig eine unerwünschte Fehlstelle im Produkt auf, deren Ursache in einer Oberflächenverschmutzung liegt. Obwohl die Ursache bekannt ist, gibt es nicht die eine Theorie, mit der man diese Auswirkung bekämpfen kann. „Moiré, dieser gleichmäßige Fehler kommt dann zustande, wenn sich auf der Oberfläche an irgendeiner Stelle Schmutz abgelagert, daß irgendwo Dreck eingeklemmt ist usw. Wir haben bei einem Kunden massive Probleme mit dem Fehler gehabt. Bei dem waren Wellen mit glatter Oberfläche eingesetzt. Die Welle mit der glatten Oberfläche ist deshalb eingesetzt worden, um diese Verschmutzungen möglichst zu verhindern, damit sich nicht so leicht etwas abgelagert und vielleicht etwas haften bleibt.“ Die Lösung des Problems lag darin – entgegen der Theorie –, eine beschichtete Welle mit einer rauen Oberfläche einzusetzen. „Die waren immer der Meinung, wenn man die beschichtete Welle mit der rauen Oberfläche einsetzt, dann haben wir das Verschmutzungsproblem sehr massiv. Das Ver-

schmutzungsproblem ist da, das ist klar, es bilden sich Ablagerungen auf der Welle.“

Der „Trick“ an der Lösung war, nicht generell eine Verschmutzung verhindern zu wollen, sondern eine „gleichmäßige“ zu akzeptieren, wenn damit eine ungleichmäßige, d.h. eine Fehlstelle, verhindert wird. „Nicht, um jetzt diese Ablagerungen zu verhindern, was man auch mit einer glatten Welle nicht effektiv geschafft hat. Und das hat wunderbar funktioniert, das war ein Treffer. Der Moiréeffekt war so gut wie weg, hat sich also sehr stark reduziert. Das war schon ein Erfolg.“

Solche Erfolge resultieren aus der Erfahrung und dem Gefühl für maschinen-spezifische technologische Prozesse, der Kenntnis verschiedener Theorien und der Erfahrung mit der Kombination verschiedener Theorien. „Man muß sich das ein bißchen verinnerlichen. Genau, das ist der Punkt: Wenn es um die Oberflächen und die ganzen Sachen geht, können minimierte Veränderungen wirklich einen Effekt haben. Das sieht man jetzt beim bloßen Hinschauen nicht, da hat sich dann so gut wie nichts getan. Man muß das wirklich verinnerlichen, und dieser Prozeß passiert mit zunehmender Erfahrung. Ich habe fast den Eindruck, bei mir hat das relativ lang gedauert. Es dauert einfach eine Zeit lang, bis man dann registriert, das sind ja minimalste Veränderungen bei diesen Prozessen. Man kann sich eigentlich nicht vorstellen, daß diese minimalen Oberflächenunterschiede noch etwas bewirken können. Man muß das einfach ausprobieren, um da eine Bestätigung zu bekommen.“

Erfahrungen mit den ablaufenden Prozessen und den unterschiedlichen technischen Realisierungen sind Voraussetzung für die Erarbeitung neuer Lösungen, die jenseits schon bekannter Lösungen liegen. „Es ist natürlich schon ein schönes Erfolgserlebnis, wenn man dann mal wirklich einen Treffer gelandet hat, wenn man also verschiedene Sachen, die man so erfahren hat in der Zeit, zu einer Lösung kombiniert, und die Lösung bewirkt genau das, was man eigentlich erreichen wollte. Das ist dann auch kein Zufallstreffer mehr, und das macht es irgendwie etwas schöner. Das resultiert aus der Erfahrung, die man eben hat. Man hat ja schon bestimmte Sachen ausprobiert, man hat die Ergebnisse im Kopf: Das da in der Richtung hat gut geklappt, und das in der anderen Richtung hat nicht so gut geklappt. Also gehe ich lieber diesen Weg, wo es geklappt hat, kombiniert mit anderen Komponenten. Es gibt ja gewisse Grundlagenerkenntnisse, die sich immer wieder reproduzieren und die kombiniert man dann zu einer neuen Lösung. Das ist dann eine schöne Sache.“

Voraussetzung, um diese neuen Wege zu finden, ist die Kenntnis der Theorien und der realisierten Lösungen. „Wenn Sie irgend etwas ausprobieren, dann machen Sie ja das nicht beliebig im luftleeren Raum. Sie machen das ja schon aufgrund einer Theorie und von Überlegungen, so und so muß es sein (...)“ Diese sind die Grundlagen für die Erarbeitung neuer Lösungen. „Das war eine

Kombination von Wissen und Erfahrungen, die man gemacht hat, zu einer Lösung, die dann funktioniert hat. Ich konnte das nur machen, weil ich die Erfahrung hatte, weil ich mir das Grundlagenwissen über die ablaufenden Prozesse selbst erarbeitet habe; weil ich Patente gelesen habe, welche Anstrengungen die anderen machen, um diese Problematik zu verhindern. Wenn man das kombiniert, dann kommt so etwas heraus.“

Die Konstrukteure müssen sich selbst Theorien zurechtlegen, sie müssen einander widersprechende Theorien anhand ihrer Erfahrungen mit dem Prozeß bewerten und neu kombinieren und gegebenenfalls revidieren. „Man muß einfach akzeptieren, daß minimalste Veränderungen noch etwas bewirken können. Man muß auch daran glauben, daß minimalste Veränderungen auch massive Probleme hervorrufen können und so ein System einfach zum Umkippen bringen können, so daß nichts mehr passiert. Das muß man sich erst einmal verinnerlichen, dann denkt man über solche Sachen ein bißchen anders nach. Ich habe hin und wieder solche Punkte, wo dann die normale Vorstellungskraft einfach aufhört. Man sagt sich einfach, bei solchen Randbedingungen kann sich das eben gravierend auswirken. (...) Man versucht, sich immer wieder Theorien zurechtzulegen, aber ob diese Theorien wirklich zutreffen, ist eine andere Frage. Ich meine, die Theorien resultieren aus Modellen, und das Modell reimt man sich aus verschiedenen Punkten zusammen, von denen man glaubt, das ist sicher. Aber, wie gesagt, ob das alles so genau stimmt, das muß man dann wieder nachprüfen. Und irgendwann stürzt auch dieses Modell wieder zusammen.“

6. Folgerungen für eine praxisbezogene Ausbildung

Mit der sich ausbreitenden Akademisierung der Ingenieurausbildung (vgl. Lundgreen/Grelon 1994) wurde zugleich auch von der Wirtschaft eine zunehmende Praxisferne dieser Ausbildung thematisiert. Speziell durch die Fachhochschulen sollte vor diesem Hintergrund eine stärkere Verbindung von theoretisch-wissenschaftlicher Fundierung und gleichzeitigem Praxisbezug erreicht werden. Seinen besonderen Niederschlag fand dies in der Einrichtung von sogenannten Praxissemestern sowie der zum Teil engen Zusammenarbeit einzelner Unternehmen mit den Hochschulen. Ein wesentliches Interesse der Unternehmen an solchen Kooperationen mit Hochschulen war zum einen – speziell bei angespannter Arbeitsmarktlage –, frühzeitig ein Rekrutierungsreservoir von Nachwuchskräften zu erschließen. Zum anderen war damit auch die Zielsetzung verbunden, eine spätere Anpassung die jeweils konkreten betrieblichen Anforderungen bereits in der Ausbildung vorwegzunehmen.

Praxisorientierte Ausbildung wird so zumeist als Anpassung an jeweils konkrete, teils auch betriebsspezifische Anforderungen verstanden. Wie die zuvor

referierten Befunde jedoch zeigen, ist ein solches Verständnis praxisorientierter Ausbildung nicht nur unzureichend, sondern in längerfristiger Perspektive auch höchst gefährlich. Die Anpassung an jeweils konkrete aktuelle betriebliche Erfordernisse kann nicht die Aufgabe betriebsexterner staatlicher Bildungseinrichtungen sein. Diese müssen sich auf betriebsübergreifende und einem ständigen Wandel unterworfenen Anforderungen einstellen. Gerade in dem Maße, wie Flexibilität in der Bewältigung konkreter Arbeitsaufgaben sowie der Wechsel von Aufgabengebieten und Arbeitgebern als zentrale Voraussetzungen einer *Employability* gefordert werden, erhält die Vermittlung übergreifender Qualifikationen eine zunehmende Bedeutung.

Dennoch trifft die Kritik an der Praxisferne der Ausbildung durchaus einen richtigen Sachverhalt: Dieser wird allerdings nur dann erkennbar, wenn die Differenz zwischen wissenschaftsbasierter Ausbildung und praktischer Tätigkeit nicht in der Perspektive der Anpassung generellen Wissens und allgemeiner Methoden an jeweils konkrete Anwendungsbedingungen gesehen wird. Statt dessen muß der Unterschied zwischen dem natur- und ingenieurwissenschaftlich geprägten Verständnis von praktischen Gegebenheiten und deren tatsächlicher Struktur ins Blickfeld gerückt werden: Ein entscheidendes Defizit der Hochschulausbildung besteht demnach darin, daß dort zu wenig auf solche praktischen Gegebenheiten vorbereitet wird, die sich nicht unmittelbar dem ingenieurwissenschaftlich geprägten Zugriff fügen und – so die These dieses Beitrags – andere Formen des Wissens und andere Vorgehensweisen erfordern. Praxisbezogene Ausbildung hieße in dieser Perspektive, den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Zugriff auf Praxis durch andere Formen des Wissens und Methoden systematisch zu ergänzen. Diese umfassen auch die systematische Anerkennung und Förderung von Erfahrungswissen und eines erfahrungsgeleiteten Arbeitens (vgl. Böhle 1995; Bolte/Müller 2000). Bislang liegen zur Rolle erfahrungsgeleiteter Arbeit und den darauf beruhenden neuen Ansätzen für die Ausbildung vor allem Erkenntnisse für den Bereich von Facharbeitertätigkeiten vor (vgl. Bauer u.a. 1999). In der obengenannten Perspektive erscheinen solche Ansätze auch für die Weiterentwicklung der Ingenieurausbildung zukunftsweisend.

Literatur

- Bauer, H. G.; Böhle, F.; Munz, C.; Pfeiffer, S. (1999): Erfahrungsgeleitetes Arbeiten und Lernen. In: Dehnhostel, P. u.a. (Hg.): Workshop – Erfahrungslernen in der beruflichen Bildung – Beiträge zu einem kontroversen Konzept. Hochschultage Berufliche Bildung 1998. Neusäß, S. 174-183

- Beck, U.; Bonß, W. (1989): Weder Sozialtechnologie noch Aufklärung. Frankfurt/M.
- Böhle, F. (1995): Technikentwicklung zwischen Verwissenschaftlichung und Erfahrung – Zur Begründung eines neuen Forschungs- und Entwicklungsfeldes. In: Rose, H. (Hg.): Nutzerorientierung im Innovationsmanagement. Frankfurt/M., New York, S. 69-102
- Böhle, F. (1997): Verwissenschaftlichung als sozialer Prozeß – Zum Einfluß der Naturwissenschaft auf die Organisation und Ziele technischer Entwicklungen. In: Bieber, D. (Hg.): Technikentwicklung und Industriearbeit. Frankfurt/M., New York, S. 153-179
- Bolte, A.; Müller, K. (2000): Neue Anforderungen an Kompetenzprofile industrieller Fachkräfte. In: Lutz, B. u.a. (Hg.): Industrielle Fachkräfte für das 21. Jahrhundert. Frankfurt/M., New York
- Lamnek, S. (1988): Qualitative Sozialforschung – Methodologie. München
- Lundgreen, P.; Grelon, A. (Hg.) (1994): Ingenieure in Deutschland, 1770 – 1990. Frankfurt/M., New York